



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA**

GRAZIELA TOSINI TEJAS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CLIMA URBANO DA CIDADE DE
PORTO VELHO, RO**

Porto Velho-RO
Agosto de 2012

GRAZIELA TOSINI TEJAS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CLIMA URBANO DA CIDADE DE
PORTO VELHO, RO**

Dissertação apresentada a Fundação
Universidade Federal de Rondônia,
como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Geografia, junto ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia, área de
concentração Amazônia e Políticas
de Gestão Territorial tendo como
linha de pesquisa Paisagem, Natureza
e Sustentabilidade

Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

Porto Velho-RO
Agosto de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA
BIBLIOTECA PROF. ROBERTO DUARTE PIRES

T2665

Tejas, Graziela Tosini

Análise espaço-temporal do clima urbano da cidade de Porto Velho, RO / Graziela Tosini
Tejas. Porto Velho, Rondônia, 2012.
121f. il.

Dissertação (Mestrado em Geografia) Fundação Universidade Federal de Rondônia / UNIR.

Orientador: Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

1. Clima urbano 2. Temperatura de superfície 3. Conforto térmico 4. Sensoriamento remoto
I. Nunes, Dorisvalder Dias II. Título.

Bibliotecária Responsável: Ozelina Saldanha CRB11/947

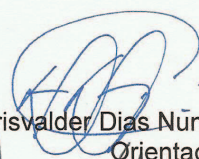
ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

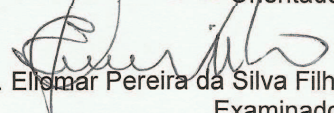
GRAZIELA TOSINI TEJAS

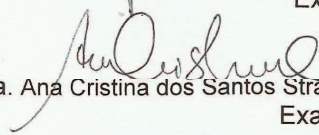
A Banca de defesa de Mestrado presidida pelo orientador Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes e constituída pelos examinadores Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho e Profa. Dra. Ana Cristina dos Santos Strava Corrêa, reuniu-se no dia 10 de agosto de 2012, às 14h30min na sala de aula Josué de Castro, Prédio do Mestrado em Geografia, sito no Campus Universitário José Ribeiro Filho, para avaliar a Dissertação de Mestrado intitulada "**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO CLIMA URBANO DA CIDADE DE PORTO VELHO – RO**" da mestranda **GRASIELA TOSINI TEJAS**. Após a explanação da mestranda, e sua arguição pela Banca Examinadora, a referida dissertação foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia foi considerada APROVADA. Conforme determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia, a candidata tem o prazo de até 90 (noventa) dias, a contar desta data, para realizar as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação.

APROVADA COM DISTINÇÃO.

Porto Velho, 10 de agosto de 2012.


Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes
Orientador


Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho
Examinador


Profa. Dra. Ana Cristina dos Santos Strava Corrêa
Examinadora

*Aos meus pais Jeferson e Regina, minha irmã
Caroline e ao meu noivo Reginaldo*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por ter me concedido vida, saúde e força durante toda a vida acadêmica, e ainda, a possibilidade da realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Jeferson e Regina e minha irmã Caroline, pelos ensinamentos, contribuição e incentivos durante a trajetória de vida pessoal e acadêmica.

Ao meu noivo e eterno amor Reginaldo, o carinho, a paciência, a compreensão e dedicação na colaboração da presente pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental (LABOGEOPA/UNIR), em especial ao Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes pelo apoio, orientação, amizade, confiança e incentivo em todos os momentos, e ainda os pesquisadores do laboratório como Aldina, Diego, Michel, Gisele, Tamires, Janyelson e Mirtilene.

À Fundação Universidade Federal de Rondônia e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial aos professores Vanderlei Maniesi, Josué, Marília Locatelli, Flávio, Ana Strava, Dorisvalder, Eliomar, Eloise, Adnilson. Meus agradecimentos a técnica de assuntos educacionais Cristiane Anastassiou pelo carinho e atenção.

Ao SIPAM/DIVMET-CTO Porto Velho pela concessão de parte dos dados meteorológicos, bem como, agradeço aos funcionários Gerente Neumar, Miriam, Janete e em especial o Luiz Santos Neto que teve a paciência de ensinar um pouco da climatologia e também ao Prof. MSc. José Carvalho pelas contribuições e incentivos na presente pesquisa. Meus agradecimentos também ao Prof. Dr. Ranyére que antes fazia parte da Divisão Meteorológica do SIPAM, mas atualmente é Professor Adjunto da UFPE.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), em especial ao Prof. Sabino pela colaboração na aplicação das equações utilizadas no presente trabalho.

Aos amigos de turma 2010 de pós-graduação, em especial ao Diego, Sandra, Luzinete e Reginaldo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro fornecido a este trabalho.

*"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."*

Martin Luther King

RESUMO

A finalidade deste trabalho foi realizar uma análise espaço-temporal do clima urbano da cidade de Porto Velho, RO. O estudo foi fundamentado na teoria de análise do Clima Urbano desenvolvida por Monteiro (1976) a partir da compreensão das regiões de interpretação do clima de ambientes urbanos: Insumo, Transformação, Produção e Percepção. Para análise climática regional, dos últimos 29 anos, inserida na região de Insumo utilizou as médias anuais e mensais, desvio-padrão e reta de tendência, por meio dos parâmetros climáticos – pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluvial. Na região de Transformação analisou-se a cobertura vegetal através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Já na região de Produção verificaram-se as alterações da estrutura térmica espacial urbana. Essas duas regiões utilizaram como ferramenta o sensoriamento remoto, por meio das imagens do sensor TM Landsat-5, dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011, processadas no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, versão 5.1.8), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e seus aplicativos Impima, Scarta e LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Finalmente para o desenvolvimento da região de Percepção, avaliou-se o conforto térmico em 08 ambientes da área urbana, adquirindo os dados de temperatura e umidade do ar, em 2011, por meio de termo-higrômetros, aplicados nas equações do Índice de Calor e de Temperatura Efetiva. Os resultados obtidos demonstraram que a pressão atmosférica sofre uma alteração anual no mês de julho, devido à entrada ocasional do anticiclone polar (frio e seco), além dos desvios positivos e negativos detectados ao longo da série por conta das anomalias térmicas *El Niño* e *La Niña*. O comportamento interanual da temperatura do ar revelou um aumento em até 2°C, e a umidade relativa média do ar também sofreu uma redução em quase 3%, reflexo do intenso processo de urbanização. Outro parâmetro a destacar foi a precipitação pluvial que apresentou uma tendência de redução em até 500 mm, o que pode estar relacionado ao crescimento urbano em face da redução da cobertura vegetal. O estudo temporal da cobertura vegetal revelou uma redução, uma vez, que a classe temática de baixa densidade de vegetação que expandiu da zona central, em 1985, para outras regiões do perímetro urbano, em 2011. Esse avanço se deve ao processo de urbanização, o que favoreceu também o aumento da temperatura do ar, promovendo assim o surgimento de ilhas de calor espaçadas por toda área de estudo, configurando-se assim “arquipélagos de calor”. Verificou-se também a redução das ilhas de frescor que, em 1985 ocupava a área de entorno do perímetro urbano, já em 2011 concentravam-se apenas nos bairros Triângulo, Área Militar (5°BEC), Areia Branca e Nacional. Os resultados, referentes análise do conforto térmico, demonstraram que os períodos críticos percebidos, pelos cidadãos, nos ambientes correram principalmente nos horários de 12h e 15h, avaliados como níveis de alerta para a saúde humana. Portanto, pode-se afirmar claramente que a retirada da vegetação influencia no aumento da temperatura de superfície, e configura-se como um dos agentes modificadores do clima regional e local.

Palavras-Chave: Clima Urbano, Temperatura de Superfície, NDVI, Conforto Térmico, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

This study aims to analyse at space time Porto Velho/Rondonia urban climate. This study was based on Climate's Urban Theory of Monteiro (1976) from the climate regions understanding of urban environments: Input, Processing, Production and Perception which guided this study. The analysis of regional climate, during the last 29 years, insert in the Input's region used the annual and monthly average, standard deviation and straight trend, by means of climatic atmospheric parameters — pressure, air temperature, relative humidity and annual rainfall —. At the transformation region was analyzed the vegetation through the Normalized Difference Vegetation's index (NDVI), and at the Production region there were changes on the study of thermal spatial urban structure. Both regions used as tool the remote sensing, through the sensor images TM Landsat-5, from the years 1985, 1995, 2006 and 2011, processed on the software SPRING (Processing System Geo-referenced Information, version 5.1.8), developed by the National Institute for Space Research (NISR) and its applications Impima and LEGAL (GIS Spatial Language for Algebraic). For the development of Perception's region, it was evaluated the thermal comfort of 8 environments from the urban area, acquiring data from temperature and air humidity, in 2011, by means of term hygrometers, applied on the equation of the Heat and Effective Temperature Index. According to the results gotten, atmospheric pressure suffers an annual change on July because the occasional entrance of a polar anticyclone (cold and dry), beyond the positive and negative deviations detected along the series per the thermal anomalies El Niño and La Niña. The inter annual behavior of air temperature showed an increase up to 2°C, and the relative humidity air average has also suffered a decreased in almost 3%, an intense urbanization process reflection. Another parameter to detach is the rainfall which presented a drop tendency up to 500mm, that can be related to the urban growth in opposite of vegetation cover reduction. The temporal vegetation study revealed a reduction, once the thematic raising class of low vegetation density which expanded from the central area, in 1985, to the other urban perimeter regions, in 2011. This progress is due to the urbanization process, which also supported the air temperature increase, causing the development of heat islands that occupy great part of the total urban area called “archipelagos heat”, beyond the reduction of fresh islands that, in 1985 occupied the urban perimeter surrounding area, already in 2011 concentrated only at the Triangulo, Militar Area (5°BEC), Areia Branca and Nacional. The thermal comfort results showed that the critical periods noticed at that environments were on the schedules noon and 3p.m measured as alert levels for the human health. Lastly, it can be assert the influence and importance of vegetation to the growth or not of the surface temperature, being one of the modify agents to regional and local climate.

Keywords: urban climate, surface temperature, NDVI, thermal comfort, remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Fig.01 –Albedos dos materiais urbanos _____	25
Fig.02 –Obtenção de imagens por sensoriamento remoto _____	29
Fig.03 –Espectro eletromagnético _____	30
Fig.04 –Sistema de coordenadas de uma imagem digital _____	34
Fig.05 –Mapa de localização da área urbana no município de Porto Velho _____	42
Fig.06 –Localização da estação meteorológica entre as cabeceiras 19 e 01 do Aeroporto Internacional Gov. Jorge Teixeira em Porto Velho/RO _____	47
Fig.07 –Fluxograma dos procedimentos metodológicos fundamentados em Monteiro (1976) _____	51
Fig.08 –Carta de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 1985 _____	76
Fig.09 –Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 1985 _____	77
Fig.10 –Carta de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 1995 _____	80
Fig.11 –Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 1995 _____	81
Fig.12 –Carta de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 2006 _____	84
Fig.13 –Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 2006 _____	85
Fig.14 –Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área urbana de Porto Velho, ano 2011 _____	87
Fig.15 –Carta de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 2011 _____	89
Fig.16 –Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 2011 _____	90
Fig.17 –Carta de ilhas de frescor da área urbana de Porto Velho do ano de 2011 _____	91
Fig. 18 –Mapa dos pontos de monitoramento meteorológico _____	93
Fig. 19 –Imagem da Praça Madeira Mamoré _____	94
Fig. 20 –Imagem da Av. Sete de Setembro _____	96
Fig.21 –Imagem da Av. José Vieira Caúla com Rua Rita Ibanês _____	98
Fig.22 –Imagem da Rua Padre Chiquinho com Av. Jorge Teixeira, Liberdade _____	100
Fig.23 –Imagem do Colégio Tiradentes (Av. Imigrantes c/ Av. Rio Madeira) _____	102
Fig.24 –Imagem do Sesi (Av. Rio de Janeiro) _____	104
Fig.25 –Imagem da Escola Municipal Vicente Rondon, Zona Sul _____	106
Fig.26 –Imagem da Escola Municipal Guadalupe, bairro Aponiã, zona leste _____	108

LISTA DE TABELAS

Tab. 01 –Resumo das grandezas radiométricas e fotométricas básicas em Sensoriamento remoto _____	32
Tab. 02 –Série histórica de 29 anos dos parâmetros climáticos utilizados _____	48
Tab. 03 –Características do satélite Landsat-5 (TM) _____	49
Tab. 04 –Cálculos do ângulo zenital solar das imagens de satélites dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011 _____	55
Tab. 05 –Faixa de radiância espectral do Landsat-5 (TM) da banda 6 _____	56
Tab. 06 –Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana da IC _____	59
Tab. 07 –Classificação das condições de conforto térmico humano dado pela temperatura efetiva _____	59
Tab. 08 –Evolução das classes de NDVI, referente para cada imagem do Landsat-5 (TM) _____	73
Tab. 09 –Comparativo das condições meteorológicas no dia de passagem de cada satélite _____	74

LISTA DE QUADROS

Quad. 01 –Sistema Clima Urbano – subsistema dos canais de percepção humana _____	23
Quad. 02 –Representação das regiões de análise do clima urbano para PVH/RO _____	24
Quad. 03 –Características do Landsat 1 aoLandsat 7 _____	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráf.01 –População de Porto Velho/RO – período de 1980 a 2010 _____	40
Gráf. 02 –Pressão atmosférica – Porto Velho – período de 1982 a 2011 _____	60
Gráf. 03 –Pressão atmosférica – média anual – Porto Velho – período de 1982 a 2011 _____	61
Gráf. 04 –Pressão atmosférica – normais climatológicas – Porto Velho – período de 1975 a 1990 _____	62
Gráf. 05 –Temperatura máxima do ar – Porto Velho – período de 1983 a 2011 _____	63
Gráf. 06 –Temperatura máxima do ar – Média Anual – Porto Velho – período de 1983 a 2011 _____	64
Gráf. 07 –Temperatura média do ar – Porto Velho – período de 1983 a 2011 _____	64
Gráf. 08 - Temperatura média do ar – Média Anual - Porto Velho – Período de 1983 a 2011 _____	65
Gráf. 09 –Temperatura mínima do ar – Porto Velho – período de 1983 a 2011 _____	66
Gráf. 10 –Temperatura mínima do ar – média anual – Porto Velho – período de 1983 a 2011 _____	66

Gráf. 11 –Temperatura do ar – normais climatológicas – Porto Velho – período de 1975 a 1990 _____	67
Gráf.12 –Umidade relativa média do ar – Porto Velho – período de 1996 a 2011 _____	68
Gráf. 13 –Umidade relativa do ar – normais climatológicas – Porto Velho – período de 1975 a 1990 _____	69
Gráf. 14 –Umidade relativa média do ar – média anual – Porto Velho – período de 1999 a 2011 _____	69
Gráf. 15 –Precipitação pluvial – Porto Velho – período de 1999 a 2011 _____	70
Gráf. 16 –Precipitação pluvial – média anual – Porto Velho – período de 1999 a 2011 _____	71
Gráf. 17 –Precipitação pluvial – normais climatológicas – Porto Velho – período de 1975 a 1990 _____	72
Gráf. 18 –Dados de população urbana e rural de Porto Velho – período de 1980 a 2010 _____	73
Gráf. 19 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 1, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	95
Gráf. 20 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 2, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	97
Gráf. 21 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 3, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	99
Gráf. 22 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 4, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	101
Gráf. 23 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 5, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	102
Gráf. 24 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 6, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	104
Gráf. 25 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 7, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	106
Gráf. 26 –Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 8, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	108
Gráf. 27 –Média do índice de calor nos oito pontos monitorados, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	110
Gráf. 28 –Média da temperatura efetiva nos oito pontos monitorados, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011 _____	110

LISTA DE SIGLAS

AB. Alta da Bolívia (anticiclone)
ASAS. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BEC. Batalhão de Engenharia Civil
Cb. Nuvens Cúmulos-Nimbos
°C. Temperatura em graus Celsius
CGA. Circulação Geral da Atmosfera
CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CINDACTA IV. Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo em Manaus
DIVMET/SIPAM. Divisão Meteorológica/ Sistema de Proteção da Amazônia
DTCEA PV. Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Porto Velho
EFMM. Estrada de Ferro Madeira Mamoré
EMBRAPA/CPAF-RO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Centro de Pesquisa Agro florestal de Rondônia
ENOS. *El Niño* Oscilação Sul
ERTS. *Earth Resources Technology Satellite*
ETM.⁺ *Enhanced Thematic Mapper Plus*
FATEC. Faculdade de Ciências Administrativas e Tecnologia
FPA. Frente Polar Atlântica
hPa. Unidade de Pressão Atmosférica Hecto-Pascal
Hz/Hertz. Unidade de Frequência
HS. Hemisfério Sul
IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBUTG. Índice de bulbo úmido e temperatura do globo
ICAO. International Civil Aviation Organization
IC. Ilhas de Calor
IFOV. *Instantaneous Field of View*
IFRO. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET. Instituto Nacional de Meteorologia
INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITU. Índice de Temperatura e Umidade
LANDSAT. *Land Remote Sensing Satellite*
LEGAL. Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
Lis. Linhas de Instabilidade
mEc. Massa de Ar Equatorial Continental
mm. milímetros de chuva
mPa. Massa de Ar Polar Atlântica
mPc. Massa de Ar Polar Continental
mTa. Massa de Ar Tropical Atlântica
mTc. Massa de Ar Tropical Continental
N. orientação Norte
NOAA. *National Oceanic and Atmospheric Administration*
NW. orientação Nordeste
OMM. Organização Meteorológica Mundial
ONR. *Office of Naval Research*
PAC. Programa de Aceleração do Crescimento
PIC. Programa de Integração Nacional
REM. Radiação Eletromagnética
S. orientação Sul
SBPV. Aeroporto Internacional de Porto Velho Gov. Jorge Teixeira
SCU. Sistema Clima Urbano
SE. orientação Sudeste
SR. Sensoriamento Remoto
SPRING. Sistema de Processamento de Imagem Georreferenciados
SW_{req.} Índice de Estresse Térmico
TM. *Thematic Mapper*
TSM. Temperatura da Superfície do Mar
UR. Umidade Relativa do Ar
ZCAS. Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT. Zona de Convergência Intertropical
ZSEE. Zoneamento Socioeconômico Ecológico

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE SIGLAS	xii
INTRODUÇÃO	16
1.1.OBJETIVOS E ESTRUTURA DO TRABALHO	18
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1.O CLIMA	20
2.1.1. O clima urbano	21
2.1.2. Ilhas de calor e frescor	24
2.1.3. Características climáticas de Porto Velho	26
2.1.4. Conforto térmico	27
2.2.SENSORIAMENTO REMOTO E O ESTUDO DO CLIMA URBANO	29
2.2.1. Sensoriamento remoto	29
2.2.2. Imagens de Satélites	33
2.2.3. Resolução das imagens de satélite	34
2.2.4. A série LANDSAT	35
2.2.5. O infra vermelho termal	37
2.2.6. O uso do sensoriamento remoto para a detecção de anomalias térmicas	37
CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDO	40
3.1.CARACTERÍSTICAS: HISTÓRICO TERRITORIAL E FISIAGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO, RO	40
3.1.1. Geomorfologia	43
3.1.2. Pedologia	43
3.1.3. Hidrografia	43
3.1.4. Vegetação	44
3.1.5. Clima	44
CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS	46

4.1.MATERIAIS	46
4.1.1. Aquisição do acervo bibliográfico	46
4.1.2. Dados da estação meteorológica de superfície	46
4.1.3. Dados de sensores remotos	48
4.1.4. Dados cartográficos	49
4.1.5. Informações pontuais de temperatura e umidade do ar	50
4.2.MÉTODO DE ANÁLISE	50
4.3.TÉCNICAS DE ANÁLISE CLIMÁTICA, SENSORIAMENTO REMOTO E CONFORTO TÉRMICO	52
4.3.1. Técnica de análise climática	52
4.3.2. Técnicas de sensoriamento remoto	52
4.3.3. Tratamentos das imagens	53
4.3.4. Técnica de análise do conforto térmico	58
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1. REGIÃO DE INSUMO: ANÁLISE DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS	60
5.1.1. Pressão atmosférica	60
5.1.2. Temperatura máxima	63
5.1.3. Temperatura média	64
5.1.4. Temperatura mínima	65
5.1.5. Umidade relativa do ar	68
5.1.6. Precipitação pluvial	70
5.2.REGIÃO DA TRANSFORMAÇÃO: ANÁLISE DA DENSIDADE DE VEGETAÇÃO E REGIÃO DA PRODUÇÃO: ANÁLISE DA ESTRUTURA TÉRMICA ESPACIAL URBANA	72
5.2.1. Análise da imagem de satélite, de 29 de Julho de 1985	74
5.2.2. Análise da imagem de satélite, de 25 de Julho de 1995	78
5.2.3. Análise da imagem de satélite, de 23 de Julho de 2006	82
5.2.4. Análise da imagem de satélite, de 06 de Agosto de 2011	86
5.3 REGIÃO DA PERCEPÇÃO: ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO	92
5.3.1. Ponto 01 – Praça da Estrada de Ferro Madeira Mamoré (EFMM)	94
5.3.2. Ponto 02 - Praça Jonatas da Pedrosa, Avenida Sete de Setembro	96
5.3.3. Ponto 03 – Avenida José Vieira Caúla, zona leste	98
5.3.4. Ponto 04 – Rua Padre Chiquinho com Avenida Gov. Jorge Teixeira	99
5.3.5. Ponto 05 – Colégio Tiradentes na Avenida Imigrantes	101

5.3.6. Ponto 06 – Escola SESI na Avenida Rio de Janeiro	103
5.3.7. Ponto 07 – Escola Municipal Vicente Rondon	105
5.3.8. Ponto 08 – Escola Municipal Guadalupe	107
CONCLUSÃO	111
REFERÊNCIAS	113

INTRODUÇÃO

A cidade é um grande modificador do clima. As atividades humanas, o aumento do número de veículos, indústrias, incremento da construção civil, asfaltamento de ruas e consequentemente a redução das áreas verdes contribuem para alterações no clima local.

O homem sempre buscou alterar o ambiente natural em virtude de suas necessidades humanas socialmente definidas, assim as alterações mal conduzidas são as causas de muitos problemas no ambiente urbano (DUARTE, 2000). Ainda segundo a autora, o espaço natural não é uma folha em branco: clima, relevo, hidrografia, outros fatores naturais devem ser considerados no desenho urbano e utilizados para melhorar a qualidade do produto final que é a cidade.

O processo de urbanização desordenado promove um fenômeno peculiar nas cidades, as chamadas “ilhas de calor”, onde acontece em locais com excessiva quantidade de construções e baixa concentração de áreas verdes, o que resulta em temperaturas mais elevadas do que em áreas vizinhas ou não urbanizadas (COSTA et al. 2010; BIAS et al. 2003) destaca que os diferentes padrões de reflexão, ou albedo, são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil, no qual dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície.

As alterações climáticas provocadas pela urbanização, segundo Landsberg (2006) se devem a três fatores: a primeira é a alteração na superfície, pois uma floresta densa terá sido substituída por um complexo de substâncias rochosas, como pedra, tijolo e concreto; naturalmente, locais úmidos, como charcos e pântanos, terão sido drenados e a rugosidade aerodinâmica terá sido aumentada por obstáculos de variados tamanhos; já a segunda causa é a produção de calor pela própria cidade, proveniente do metabolismo da massa de seres humanos e animais ao calor liberado por milhões de motores de combustão interna em função do grande aumento de veículos motorizados; e a terceira maior influência da cidade sobre o clima são as áreas densamente povoadas que promovem a alteração da composição da atmosfera.

Em meio a este contexto conceitual, pode-se inferir que a formação do clima urbano, segundo Monteiro (1976) é o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. O autor o denominou de sistema clima urbano (SCU) definido como um sistema singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de auto-regulação que abrange um clima local (fato natural) e a cidade (fato social).

O estudo do clima urbano visa compreender a organização climática peculiar da cidade e pressupõe, inicialmente, um nível de enfoque que compreende o clima local, mas que se estende a níveis regionais (mesoclima) e globais (macroclima) (COLTRI, 2006).

Monteiro (1976) destaca que no estudo do clima urbano podem ser consideradas três linhas de pesquisa ligadas à atmosfera urbana, como: o conforto térmico, impactos meteóricos e a qualidade do ar. O canal de conforto térmico está relacionado com o balanço de energia, sendo evidenciado pela geração de ilhas de calor (COLTRI, 2006).

A presença de vegetação nos ambientes urbanos funciona como reguladores da temperatura urbana, pois absorve com mais facilidade a radiação solar, utilizada nos processos biológicos (fotossíntese e transpiração), reduz a poluição atmosférica e quando próximas aos corpos d'águas tendem apresentar temperaturas mais amenas e, conseqüentemente, diminuem o efeito das ilhas de calor (GOMES e AMORIM, 2003).

A técnica mais utilizada para o estudo de ilhas de calor destaca-se o emprego das imagens de satélite. Para os estudos de grandes áreas o sensoriamento remoto é a ferramenta mais adequada, uma vez que, possibilita ao pesquisador obter informações dos alvos da superfície terrestre a partir do registro da interação entre a energia eletromagnética e estes alvos (CASTRO, 2009). Por exemplo, Lombardo (1985) realizou estudos na cidade de São Paulo, por meio da interpretação das imagens do satélite polar NOAA, no qual desenvolveu um algoritmo para cálculo das temperaturas superficiais dos alvos em função da distância que chega ao satélite e da estimativa das emissividades de superfície. Esse estudo apresentou como resultado diferenças em até 10°C em estado de calmaria na cidade e quanto à análise de densidade de cobertura vegetal encontrou 70% no Morumbi e 3% na área central.

A aplicação do sensoriamento remoto nos estudos de clima urbano serve para detectar as características térmicas das superfícies urbanas que pode ser identificado por meio das análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite (COSTA et al. 2010).

As anomalias térmicas ou ilhas de calor identificadas nos principais centros regionais têm-se propagado para outras cidades de médio e grande porte. No caso da Amazônia, naturalmente as temperaturas são elevadas durante o ano, por conta de sua posição próxima a linha do Equador onde a incidência solar é maior sendo diferenciada das demais áreas do Brasil. No entanto, a radiação solar somada aos adensamentos urbanos como o caso de Belém e Manaus, apresentaram um cenário favorável ao surgimento de ilhas de calor, como os estudos realizado por Castro (2010) e Anjos et al. (2002).

Com isso, este trabalho se propõe estudar outro centro regional de destaque na Amazônia, inserida na porção meridional que é a cidade de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, onde sua ocupação esteve relacionada aos surtos migratórios, advindos dos ciclos econômicos como: construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré, borracha, cassiterita, ouro e ainda recentemente a instalação e construção de duas usinas hidroelétricas do complexo do rio Madeira (Santo Antônio e Jirau), obra do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal. Pois, as modificações decorrentes dessa ocupação, muitas vezes sem planejamento, alteram a vegetação natural, onde o clima configura-se como um elemento importante para caracterizar os tipos de paisagens, bem como as alterações por elas sofridas. As ações antrópicas, tais como processo de urbanização, desmatamento, modificações nos corpos d'água, queimadas podem provocar bruscas alterações no clima e vitimar a sociedade de suas próprias ações.

Para Cavalcanti et. al. (2009), a Amazônia e o Nordeste brasileiro são as regiões que apresentam maior vulnerabilidade às eventualidades climáticas, devido à falta de infraestrutura e acesso as tecnologias. Com isso, são essenciais os estudos climáticos principalmente nessas regiões, de tal modo que sejam integrados às políticas ambientais e de desenvolvimento, para que as ações venham propor medidas de mitigação.

A presente pesquisa esteve orientada pela inquietação da falta de estudos aplicados ao comportamento climático em Porto Velho, RO, principalmente o estudo do clima urbano.

1.1. OBJETIVOS E ESTRUTURA DO TRABALHO

O objetivo principal desta dissertação de mestrado foi analisar em espaço-temporal o clima urbano da área urbana de Porto Velho/RO, no período compreendido entre 1985 a 2011. Com essa escala temporal o estudo do clima urbano na cidade de Porto Velho requereu diferentes escalas de análise geográfica de tratamento, exigindo assim objetivos específicos para cada nível, como:

- a)** Analisar o comportamento das variáveis climáticas (Pressão Atmosférica, Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar e Precipitação Pluvial).
- b)** Gerar mapas de densidade da vegetação e de anomalias térmicas da área de estudo com o auxílio de imagens do sensor TM Landsat-5;
- c)** Avaliar o índice de conforto térmico na área urbana.

Os objetivos específicos tiveram como base de sustentação metodológica o estudo de clima urbano de Monteiro (1976), com enfoque para o canal do conforto térmico denominado de subsistema que trata das regiões, como: *Insumo, Transformação, Produção e Percepção*.

A partir destes objetivos o trabalho foi estruturado da seguinte forma:

O primeiro capítulo é apresentação do trabalho e os seus objetivos. Na sequência, o segundo capítulo é a revisão bibliográfica, onde foram apresentados os conceitos de clima, clima urbano, ilhas de calor, ilhas de frescor, conforto térmico e sensoriamento remoto, além da revisão de diversos trabalhos já realizados, que estudaram ilhas de calor. No terceiro capítulo, uma breve descrição das características geoambientais da Amazônia e Porto Velho. O quarto capítulo é apresentação dos materiais e os métodos empregados na presente pesquisa, bem como os dados utilizados e o procedimento para determinação da cobertura vegetal, temperatura de superfície e as equações de conforto térmico. No quinto capítulo, são mostrados os resultados e discussão procurando explicitar todos os objetivos específicos comparando com outros estudos. Por fim, o último capítulo são as conclusões sobre o trabalho e algumas sugestões possíveis para os resultados obtidos.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O CLIMA

O clima de qualquer região é definido pela circulação geral da atmosfera (CGA), resultante do aquecimento diferencial do globo pela radiação solar, da distribuição assimétrica dos oceanos e continentes e das características topográficas sobre os continentes. A circulação geral da atmosfera promove na atmosfera uma redistribuição de calor e umidade, que por sua vez, diminui as variações regionais dos elementos climáticos, embora por outro acentue diferenças regionais dos mesmos elementos climáticos, como temperatura e precipitação, sendo as de maior influência nas atividades humanas (FISCH, 1996).

Neste sentido, o clima é o resultado de um processo complexo que envolve a atmosfera, o oceano, as superfícies sólidas (vegetadas ou não), o gelo, a neve, e apresenta uma enorme variabilidade no espaço e no tempo (CONTI, 1998). Assim como todos os demais sistemas da natureza, ele está em constante e permanente transformação, decorrente do efeito antropogênico, ou simplesmente da própria dinâmica do planeta Terra (FONSECA et al. 2007).

Para Sorre (1984) o clima é a série dos estados da atmosfera, num determinado local, em sua sucessão habitual, evidenciando um caráter dinâmico, introduzindo as idéias de variação e de diferenças na sua sucessão. Pelo clima ser dinâmico o torna necessário o seu estudo e a observação constante dos elementos climáticos relacionando com os fatores climáticos de modo a analisá-los em variações e tendências.

Dentre os principais fatores climáticos que promovem as variações no clima, especificamente no clima urbano, destacam-se: a *latitude* que controla o volume de insolação que um determinado lugar recebe; a *altitude* em relação ao nível do mar tendo influência direta na temperatura do ar e a orientação do sítio, devido à diferença de radiação solar incidente; os *revestimentos do solo* que podem ser corpos d'água, vegetação ou revestimentos artificiais de urbanização produzindo implicações climáticas em escala local (BARBIRATO et al. 2007).

Quanto aos elementos climáticos ressalta-se que a *pressão atmosférica* significa o peso de uma coluna de ar posicionada verticalmente acima de uma área horizontal (SONNEMAKER, 2007). Esse elemento climático sofre variações de acordo com a temperatura, densidade, altitude, umidade, período do dia (variação), latitude e condições meteorológicas; a *temperatura* significa a agitação das partículas de um corpo e a temperatura do ar é o resultado do aquecimento e resfriamento da superfície da terra; a *umidade* é o termo

mais usual para caracterizar a presença de vapor d'água na atmosfera fornecido principalmente pela evaporação, essa componente tem forte influencia no tempo e no clima por dar origem a precipitação e absorção da radiação solar promovendo o fator de sensação térmica. A *umidade relativa do ar* comumente utilizada é o grau de saturação do ar (%). Ela é inversamente proporcional à temperatura do ar, pois é esta quem controla o teor de umidade máxima presente por unidade de volume de ar; a *precipitação* é originada por meio do processo de evaporação, sofrendo variação no ambiente urbano como ocorrência para o maior acúmulo em relação ao campo e por outra a redução da evapotranspiração devido à menor proporção de áreas verdes e corpos d'águas.

O papel do homem neste contexto tem-se mostrado de maneira catastrófica, por ajudar a alterar um clima local por meio de suas atividades urbanísticas o que resulta nos centros urbanos o fenômeno de ilhas de calor.

2.1.1. O clima urbano

A cidade é a materialização do processo de urbanização manifestada pela aglomeração de pessoas com suas construções e atividades num determinado local, no qual revela uma paisagem artificial acarretando em maiores alterações no clima local (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003).

Os espaços urbanos se tornaram crescentes, e ação do homem se faz de maneira intensa nas cidades por meio de suas atividades. Os contrastes do urbano com o campo se tornaram evidentes, de maneira que o homem tomou consciência que a atmosfera sobre a cidade era sensivelmente diferente do campo, surgindo assim as primeiras impressões de clima urbano, (MONTEIRO, 1976).

A preocupação com a qualidade do ambiente urbano é do período da Revolução Industrial, devido ao estado de deterioração dos aglomerados industriais desenvolvidos na Inglaterra, França e Alemanha (BRANDÃO, 2003). O que significou o destaque para os primeiros estudos documentados sobre o clima urbano realizado por Luke Howard em 1818 (1833), na cidade de Londres, no qual observou um “excesso de calor artificial” na cidade em comparação ao campo, chegando a uma diferença de quase 2,2°C. Na cidade de Paris, o estudo de clima urbano também foi desenvolvido por Emilien Renou, no qual apresentou que a cidade estava 1°C mais quente do que seu campo circundante (BRANDÃO, 2001).

A literatura estrangeira apresenta farta bibliografia com destaque para os trabalhos de Landsberg (1956) e Chandler (1965), considerados os clássicos no tema, embora a abordagem

seja mais meteorológica do que geográfica, sem relacionar os fenômenos meteorológicos com os ambientes urbanos (LOMBARDO, 1985; BRANDÃO, 2001).

Os estudos de clima urbano se multiplicaram e avançaram, em Viena com Wilhelm Schmidt (1917, 1929) e nos Estados Unidos com Mitchell (1953, 1961). No Brasil, o destaque foi ao geógrafo Carlos Augusto Figueiredo Monteiro na década de 1970, motivando para os seguintes trabalhos: Tarifa (1977) na cidade de Marabá-PA; Lombardo (1985) na cidade de São Paulo; Brandão (1987) no Rio de Janeiro; Mendonça (1995) na cidade de Londrina; Danni-Oliveira (2000) na cidade de Curitiba; Duarte (2000) na cidade de Cuiabá; Coltri (2006) na cidade de Piracicaba/SP.

Os fenômenos de ilhas de calor, poluição do ar e as inundações constituem produtos resultantes de alterações no SCU, o que configura em uma mobilidade têmporo-espacial, tanto vertical como lateral, onde a energia que entra no SCU incrementada pela produção de energia antropogênica resultantes das feições urbanísticas constitui-se o estudo do clima urbano, uma relação entre o homem e a natureza (BRANDÃO, 2003).

O clima urbano é o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, através de um sistema clima urbano (SCU) que funciona como um sistema singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de auto-regulação que abrange um clima local (fato natural) e a cidade (fato social) Monteiro (1976). O espaço urbanizado constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional, sendo uma articulação geográfica entre o local e o regional.

A visão sistêmica do clima urbano, proposta por Monteiro (1976), é oriunda da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanfy (1950). O autor explica a preferência pela teoria por ser paradigmática, com capacidade para revelar a essência de um fenômeno de complexidade, no sentido de compreender o funcionamento, o desempenho e a organização.

A teoria abrange os aspectos da urbanização como crescimento e cultura da população, economia e expansão das cidades, materiais empregados nas construções, verticalização do solo, conforto e bem estar do cidadão, morfologia urbana, entre outros, Monteiro (1976). Neste contexto, Mendonça (2003, pg.177) esclarece que:

[...] o emprego da teoria dos sistemas, da noção de dinâmica da atmosfera e das preocupações de alguns climatólogos com a interação estabelecida entre a atmosfera, o sítio (dimensão natural do ambiente urbano) e o fato urbano (materialidade humana), que o clima da cidade passou a ser enfocado de um ponto de vista mais holístico e numa dimensão evolutiva, originando os estudos de climas urbanos.

A Teoria do Sistema Clima Urbano (SCU) foi ordenada em graus de hierarquia denominados de Canais de Percepção Humana proposto por Monteiro (1976), ajustados em conjuntos, de modo a manter a associação intrinsecamente atmosférica (composição, comportamento e produção meteórica) direcionados a percepção sensorial e comportamental do habitante da cidade.

Os três canais de Percepção Humana são classificados em: elementos Termodinâmicos, Físico-Químico e o Hidrometeorológico. O quadro 1 apresenta uma caracterização geral desses canais, podendo ser comparado entre eles.

QUADRO 1. Sistema Clima Urbano – subsistemas dos canais de percepção humana

Subsistemas/Canais Caracterização	I Termodinâmico	II Físico-Químico	III Hidrometeorológico
	<i>Conforto Térmico</i>	<i>Qualidade do ar</i>	<i>Impacto meteórico</i>
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação horizontal	Atividade Urbana Veículos automotores Indústrias Obras de Limpeza	Atmosfera Estados Especiais (desvios rítmicos)
Projeção	Interação entre o Núcleo (espaço urbanizado) com o Ambiente (regional ou local)	Do núcleo (espaço urbanizado) ao ambiente (local ou regional)	Do ambiente (local ou regional) ao núcleo (espaço urbanizado)
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódico (eventual)
Observação	Meteorológica especial (T. de Campo)	Sanitária e Meteorológica especial	Meteorológica sanitária e Infra- estrutura urbana
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia Sanitária	Engenharia Sanitária e Infra- estrutura urbana
Produtos gerados	“Ilha de Calor” Ventilação Aumento de precipitação nos centros urbanos	Poluição do ar	Ataques à Integridade Urbana
Efeitos diretos ao cidadino e ao ambiente	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários Doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativos (mitigação)	Controle do uso do solo (áreas verdes) Tecnologia de conforto habitacional (tipos de materiais urbanísticos)	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra-estrutura urbana e regularização fluvial. Uso do solo
Responsabilidade dentro Sistema Clima Urbano	Natureza e Homem	Homem	Natureza

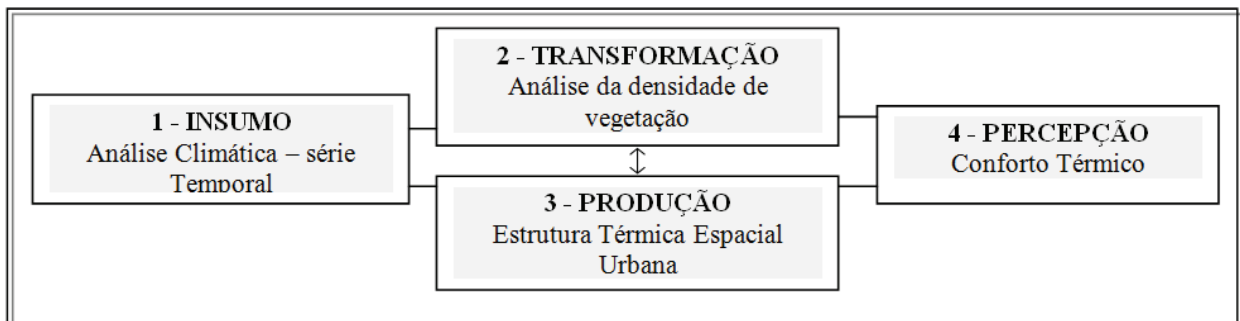
Fonte: Adaptação de Monteiro (1976)

Os dois primeiros canais do subsistema do SCU ocorrem com maior frequência nas grandes cidades, consequentemente, os mais estudados. O terceiro canal de ocorrência maior nas cidades tropicais é o menos explorado, portanto o menos estudado (COLTRI, 2006).

Neste sentido, o estudo do clima urbano em Porto Velho teve em sua proposta metodológica a Teoria do Clima Urbano de Monteiro (1976). O canal de percepção humana de caracterização do conforto térmico norteou os procedimentos adotados em todas as etapas da presente pesquisa.

Com base nesse canal a pesquisa se desenvolveu através das cinco regiões denominadas da seguinte forma: a região **1** é o **insumo** que significa verificar as variações climáticas e suas tendências. A região **2** é a **transformação** consideradas as fontes transformadoras nesse subsistema, o que vale ressaltar o uso e ocupação da terra, através da densidade de vegetação. A região **3** é a **produção**, em resposta as modificações da região 2, o que desencadeia por exemplo as “Ilhas de Calor”. Por conseguinte, a região **4** tendo o aspecto da **percepção**, ou seja, o subsistema sensorial que se dá através do conforto térmico, em nível social. O quadro 2 representa as quatro regiões mencionadas para análise do clima urbano em Porto Velho/RO.

QUADRO 2. Representação das regiões de análise do clima urbano para Porto Velho/RO



Fonte: Adaptado de Monteiro (1976)

2.1.2. Ilhas de calor e frescor

As ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas, porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do sol, do que materiais naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Esse aquecimento é devido ao material ser impermeável e estanque, no qual não há umidade disponível para dissipar o calor. Outro fator é a combinação

de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração do tipo *cânion*¹ que absorve e armazena mais energia solar (GARTLAND, 2010).

O fenômeno de ilhas de calor é mais verificado em ambientes urbanos, pois, os diferentes padrões de reflexão ou espalhamento da radiação solar (albedo), são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil (BIAS et al. 2003). O albedo é o índice de reflexão que irá sofrer variação conforme a cor do material ou da superfície, assim, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície (materiais de cores escuras), conforme Figura 01.

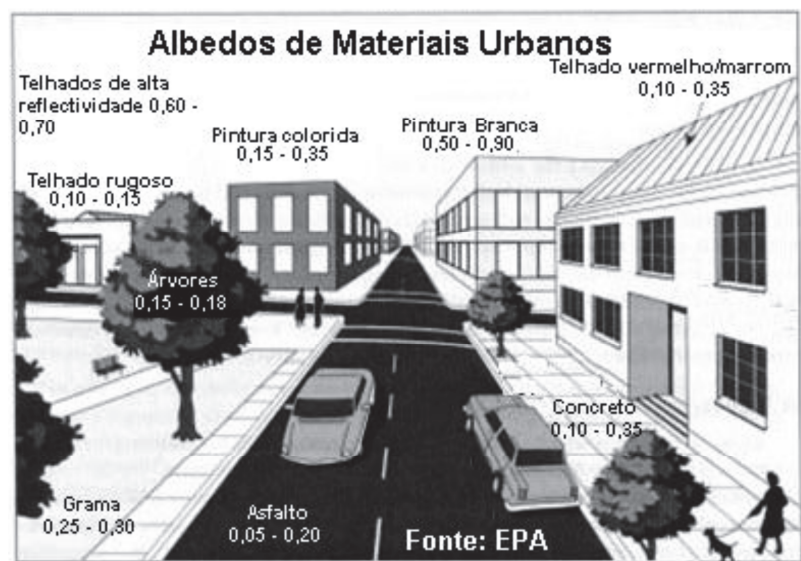


FIGURA 01. Albedos dos materiais urbanos. Fonte: BIAS et al. 2003

Neste sentido, vale ressaltar algumas das características das ilhas de calor (IC) com base em Gartland (op. cit. pg.11):

a) Ao amanhecer a temperatura do ar geralmente é menor igualando-se as temperaturas das áreas rurais, pois ao longo do dia as superfícies urbanas se aquecem e esquentam o ar urbano. Assim, o efeito de ilha de calor é maior e mais intenso à noite, porque as superfícies urbanas continuam a liberar calor diminuindo o arrefecimento durante o período noturno. Isso depende das propriedades dos materiais urbanos, que varia de cidade para cidade. As cidades são construídas com materiais que liberam calor mais rapidamente (solos secos e madeira) atingem o pico de intensidade da ilha de calor logo após o pôr-do-sol, ao passo que cidades construídas com materiais que liberam calor mais lentamente (concreto e rocha) podem atingir seus picos somente após o amanhecer. O armazenamento do calor nos materiais está relacionado com a condutividade térmica e a capacidade calorífica, uma vez que a

¹ O pavimento que se refere a todas as superfícies pavimentadas incluindo pista de rolamento, estacionamentos, calçadas, vias para ciclistas, arruamentos, etc.

combinação dessas propriedades é chamada de difusividade, e seus altos índices significam as temperaturas se manterem constantes com o tempo.

b) Outra característica a destacar são as superfícies urbanas do tipo, coberturas e calçadas, sendo bem mais aquecidas pelo sol e suas temperaturas podem variar de 27°C a 50°C, durante o dia, e à noite o calor acumulado é liberado. O que demonstra a importância da vegetação (árvores e gramas) nesses espaços como forma de manter o ambiente mais fresco.

c) Os efeitos de ilhas de calor intensas acontecem principalmente em dias calmos, claros e com ventos brandos, no qual a liberação do calor acontece de maneira lenta. Isso se deve a menor convecção do calor das superfícies para o ar.

No ambiente urbano a ilha de calor é o resultado da produção de um *stress* térmico que se persistente causa um desconforto térmico que ultrapassa os limites de tolerância dos habitantes (LOMBARDO, 1985).

Além disso, os problemas de saúde, as contas de energia são mais elevadas, por conta do consumo de refrigeradores e a maior poluição existente nesse ambiente. Cereda & Costa (2009) explica que a economia de energia pode ser avaliada com o uso de tinta refletiva, exemplo em telhados com tinta de cor branca promovendo benefício ecológico associado a redução do consumo energético.

O efeito contrário das Ilhas de Calor são as ilhas de frescor. As ilhas de frescor são caracterizadas por possuírem temperatura do ar amena em relação às ilhas de calor. Elas produzem um efeito oásis na cidade, geralmente localizadas em lugares com abundância em vegetação, próximas a corpos d'água como igarapés, lagos ou em áreas rurais, onde, esse ambiente promove um conforto térmico ao cidadão. Conforme Barbirato et al. (2007) a vegetação tem menor capacidade e condutividade térmica do que os materiais de construção presentes na cidade.

O termo ilhas de frio ou frescor é pouco utilizado nos trabalhos de climatologia urbana, e quando adotado se realiza a diferença do menor valor da temperatura do ar obtido no ambiente urbano com o valor mensurado no meio rural, o que quase sempre essa diferença é negativa (MOURA et al. 2008).

2.1.3. Características climáticas de Porto Velho

Porto Velho, RO apresenta características climáticas variada, por estar situada em uma região que apresenta dois períodos climáticos distintos e bem definidos. O período chuvoso ocorre de outubro a abril e o período seco nos meses de junho, julho e agosto, sendo que os meses de maio e setembro são períodos de transição. Assim, Santos Neto (2010) explica que a

estação chuvosa é denominada de *inverno amazônico* e a estação seca de *verão amazônico*, devido ao costume local e por associarem aos períodos secos e chuvosos à sensação térmica.

O clima de Porto Velho recebe algumas denominações quanto a sua classificação: Köppen o apresenta como sendo do tipo Am (clima de monção com uma breve estação seca e chuvas intensas no restante do ano); Nimer (1989) diz tratar-se de um clima quente úmido com três meses secos do tipo tropical; Já Mendonça & Danni-Oliveira (2007) classificam-no como um clima equatorial com sub-seca (três meses secos), com influência da mEc e da ZCIT.

As características climáticas irão variar de cidade para cidade, devido aos fatores fisiográficos que irá influenciar na formação e intensidade do fenômeno ilhas de calor, consequentemente no conforto térmico.

2.1.4. Conforto térmico

O homem é uma espécie homeotérmica, sendo seu organismo mantido a uma temperatura interna sensivelmente, da ordem de 37°C (FROTA e SHIFFER, 1988). Em caso de alta temperatura corporal os principais mecanismos termorreguladores são a vasodilatação e o suor, e quando em caso de baixa temperatura corporal ocorre a vasoconstrição, tiritar e eriçar de pelos (GOUVÊA, 2007).

O conceito de conforto térmico envolve a condição mental, à satisfação do indivíduo com o seu ambiente térmico, como algo subjetivo (RORIZ, 2003). O conforto implica em índices que o ser humano sinta confortabilidade em decorrência de condições térmicas agradáveis ao corpo, segundo Gomes e Amorim (2003). Essas definições são válidas para o ponto de vista humano, quanto ao ponto de vista ambiental, Nóbrega e Lemos (2011) explicam que cômodo é o ambiente cujas condições admitam a manutenção da temperatura corporal sem precisar ativar os mecanismos termo-reguladores, ou seja, é necessária a harmonia entre o organismo humano e o ambiente.

Os estudos de conforto térmico em ambientes internos são geralmente elaborados por arquitetos, e quando se trata da análise em ambientes externos, a avaliação é dada pela interação higrotérmica do indivíduo e do ambiente. Monteiro e Alucci (2007) explicam que Hipócrates, em 400 a.C., já havia descrito qualitativamente as principais variáveis que influenciam nessa interação, tais como, temperatura, umidade, ventos e radiação.

O estudo da temperatura do ar caracteriza as condições ambientais que pode estabelecer aos seres vivos um nível de conforto. De acordo com Repelli et al. (1998) a

sensação de conforto pode ser quantificado através de um índice com dados de temperatura do ar e umidade relativa, denominado de temperatura aparente ou “índice de conforto”.

A presença da vegetação em ambientes urbanos também representa efeitos amenizadores da temperatura. Gomes e Amorim (2003) afirmam que determinadas espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana reduzem os efeitos de radiação solar e oferecem conforto térmico ao ambiente.

Nos centros urbanos as áreas verdes são indispensáveis na prevenção de situações de desconforto, de gastos energéticos com a climatização de edifícios e do efeito urbano de “ilha de calor” (BARBIRATO et al. 2007).

Estudo realizado na cidade de Porto Velho/RO em 2010 em duas unidades amostrais diferentes revelou que a temperatura do ar no ponto com presença de vegetação foi menor em até 5°C, em relação ao ponto com ausência de vegetação e a umidade relativa do ar apresentou uma diferença de 3% a 6% entre um ponto e outro (TEJAS et al. 2011).

A arborização urbana propicia ambientes de conforto térmico na urbe, por isso as pesquisas são desenvolvidas através de diversos índices de conforto térmico, que engloba o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente construído.

Exemplos de índices térmicos são:

a) Índice de Temperatura e Umidade (ITU) que visa definir zonas de conforto térmico para pessoas e também para animais (OLIVEIRA et al. 2006);

b) Índice de Temperatura Efetiva, definida pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, a fim de concluir quais são as condições de conforto térmico, considerado um índice subjetivo (FROTA e SHIFFER, 1988);

c) Índice do calor (IC) é um índice que combina a temperatura e a umidade relativa do ar para determinar uma temperatura aparente, que representa o quanto quente sentimos realmente, além disso, esse índice foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para dados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas situações em que as temperaturas estão elevadas, estando à pessoa à sombra em condições de vento fraco (NÓBREGA e LEMOS, 2011).

2.2. SENSORIAMENTO REMOTO E O ESTUDO DO CLIMA URBANO

2.2.1. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto (SR) é uma técnica que utiliza sofisticados sensores para medir a quantidade de energia eletromagnética que emana de um objeto ou área geográfica à distância. O conceito máximo dessa prática sugere a aquisição de informações sobre um objeto sem tocá-lo, pois a energia do Sol ao incidir sobre a superfície terrestre, absorve e reflete ao sensor (satélite), em seguida é captada e registrada por uma estação de recepção, conforme (Figura 02).

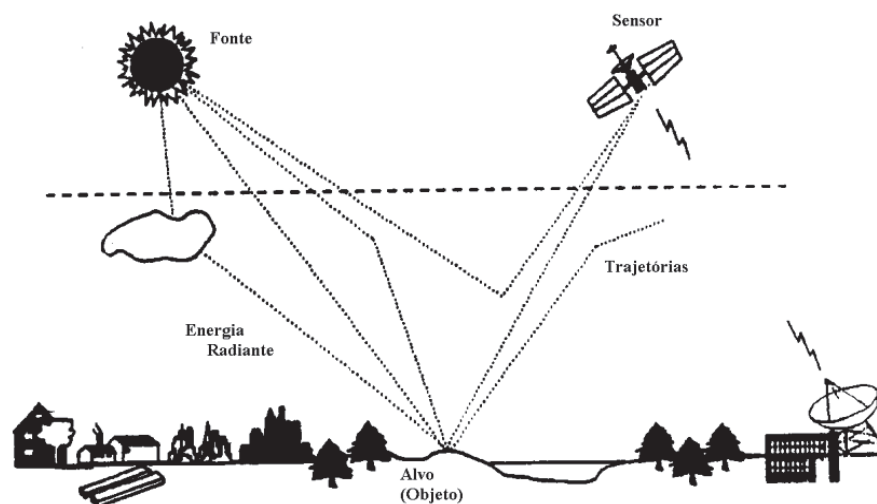


FIGURA 02. Obtenção de Imagens por sensoriamento remoto
Fonte: INPE (2011)

A origem do termo sensoriamento remoto está relacionado ao surgimento da fotografia aérea, que por um longo período foi estreitamente de uso militar. Florenzano (2007) afirma que a primeira fotografia aérea foi tirada em 1856 de um balão. No ano de 1862, período de guerra civil americana, o exército formado pelo corpo de balonistas, fez o reconhecimento das tropas utilizando fotografias aéreas. Por consequência, no ano de 1909, as fotografias já foram tiradas de aviões, intensificando-se na Primeira Guerra Mundial e na Segunda Guerra Mundial houve um grande desenvolvimento da ciência sensoriamento remoto.

Em 1960, o grupo *Office of Naval Research* (ONR), introduzido por Evelyn Pruitt discutiu o termo SR em um artigo não publicado, mas com os avanços das fotografias aéreas e o lançamento de satélites, o grupo expandiu as pesquisas promovendo uma série de simpósios disseminando o conhecimento do sensoriamento remoto, Jensen (2009). Destaca ainda

Florenzano (2007) que os sensores foram desenvolvidos para fins de espionagem, e com o fim do período Guerra Fria, muitos dos dados de segredo militar foram liberados para o uso civil. Assim, a aquisição das imagens orbitais incentivou a construção de vários satélites com o objetivo de mapeamento e avaliação de recursos terrestres.

A energia utilizada em SR é a transferência de energia por radiação eletromagnética (REM) que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas na velocidade da luz (300.000 km/s), medidos através da frequência (Hz) e do comprimento de onda (m), assim denominados de faixas de energia ou espectro eletromagnético, pois todo corpo com temperatura superior a 0K (-273°C) emite radiação eletromagnética como a água, solo, rocha, vegetação e a superfície do Sol (NOVO, 2010) (Figura 03).

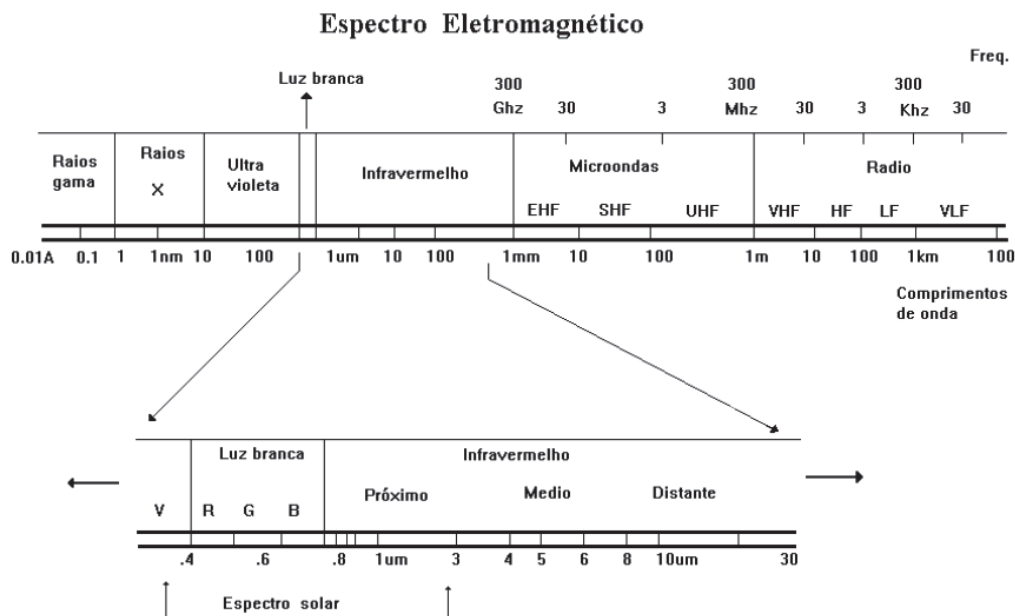


FIGURA 03. Espectro eletromagnético
Fonte: INPE (2011)

O espectro eletromagnético é dividido em regiões de curto comprimento de onda como os raios gama, raios x e os cósmicos, considerados de alta frequência, já os longos comprimentos de ondas (ondas de rádio) são de baixa frequência, logo, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda. O maior destaque do espectro eletromagnético são as faixas do visível (0,4 - 0,77 µm), onde o olho humano enxerga a energia (luz) eletromagnética e outra o canal termal, faixa do infravermelho (0,77 - 15µm), denominados também de espectro óptico relacionados aos componentes de reflexão e refração sendo as lentes, os espelhos e os prismas (COLTRI, 2006).

Para obtenção de dados, por meio dos sensores remotos é necessário uma fonte de energia. Essa energia pode ser de origem natural (o Sol ou o calor emitido pela superfície terrestre) ou de uma fonte artificial (*flash* de uma máquina fotográfica), assim registrado por meio de imagens e armazenado em formatos digitais ou analógicos (FLORENZANO, 2007; FITZ, 2008).

Neste sentido, os sensores são classificados em ativos e passivos, segundo Jensen (2009) e Florenzano (2007): os ativos possuem sua própria energia, na região de microondas (faixa do espectro eletromagnético), o RADAR cobre o terreno com energia eletromagnética gerado pelo próprio equipamento; os passivos necessitam de fonte de energia externa, no qual os sensores (câmeras fotográficas, de vídeo ou os *scanners* multiespectrais) captam e registram a energia proveniente de um objeto ou área, esses por sua vez localizam na faixa do visível e do infravermelho.

A informação que o sensor detecta é gerada pelo *fluxo radiante* (Φ) de energia, que ao deixar um corpo atinge um sensor. Essa energia é transportada pela REM, sendo a capacidade que a radiação tem de realizar trabalho. Jensen (2009) afirma que esse fluxo de energia é dado em watts (W) que chega (incidente) em comprimentos de onda e interage com o terreno, possibilitando as informações sobre a área. Novo (2010) explica que o fluxo radiante ao ser interceptado por uma superfície é dividido pela área, fornecendo uma idéia de densidade média do fluxo radiante, denominado de *Irradiância* (E), expresso em (W.m^{-2}).

Já a radiância ($L\lambda$) Jensen (2009) define como sendo a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica e num ângulo sólido específico. Vale ressaltar, a afirmação de Novo (2010, pg.57):

Embora a Irradiância seja afetada pela distância entre a fonte e a superfície, a Radiância não é afetada pela distância entre o sensor e o alvo. Este fato é importante, porque em Sensoriamento Remoto, a grandeza radiométrica medida por um grande número de sensores é a Radiância. Isto permite admitir que, na ausência de atenuação atmosférica, a radiância do alvo na superfície é igual à radiância registrada na imagem. Ou seja, a distância entre o alvo e o sensor não altera o valor de radiância.

A tabela 01 resume as principais grandezas radiométricas e fotométricas encontradas em sensoriamento remoto.

TABELA 01. Resumo das grandezas radiométricas e fotométricas básicas em sensoriamento remoto

Grandeza	Símbolo	Conceito
Energia Radiante	Q	Energia transportada em forma de ondas eletromagnéticas ou fótons
Fluxo Radiante	Φ	Taxa de variação de energia no tempo
Irradiância	E	Fluxo incidente sobre uma superfície por unidade de área
Radiância	L	Intensidade Radiante por unidade de área normal à fonte, numa dada direção
Excitância ou Emitância	M	Fluxo deixando uma superfície por unidade de área
Emissividade	ε	Razão entre a excitância de um material e a excitância do corpo negro
Reflectância	ρ	Razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente sobre a superfície

Fonte: NOVO (2010)

A camada da atmosfera contém gases, tais como água, dióxido de carbono, oxigênio, ozônio e óxido nítrico. A energia absorve esses gases quando se propaga até a superfície terrestre, chamadas de bandas de absorção. Jensen (2009) explica que na porção do visível, a atmosfera não absorve toda a energia incidente, mas transmite de maneira eficaz, denominada de *janelas atmosféricas*, ou regiões pelas quais a energia passa. Embora, existem áreas no espectro eletromagnético, conforme o autor, que absorve maior parte da energia infravermelha, sendo as bandas de absorção ou de transparência, tornando assim impossível fazer sensoriamento remoto ambiental nessas regiões.

As imagens adquiridas por sensores remotos contêm erros geométricos e radiométricos oriundos por falhas instrumentais (posicionamento do satélite, movimentos da Terra, curvatura da Terra, largura da faixa de imageamento) ou limitações próprias do processo de imageamento (NOVO 2010).

Quanto a correção dos efeitos atmosféricos existem vários modelos teóricos, embora com limitações teóricas, que segundo Chen (1996) *apud* Novo (2010) em avaliação desses métodos para a Amazônia, chegou a conclusão que os pressupostos teóricos não são aplicáveis, então o melhor é não corrigir os dados, pois pode-se correr o risco de introduzir mais erros ao conjunto de dados.

A presente pesquisa utiliza as imagens Landsat consideradas a mais antiga série de satélites em órbita, que datam do início da década de 70 e, portanto, apresentam uma série temporal relativamente longa se comparados aos demais sistemas sensores existentes, tais análises são bastante comuns nos estudos de clima urbano, cujo foco é conhecer o seu principal fenômeno, a ilha de calor, Lucena et al. (2010).

A obtenção do mapa térmico da cidade de Porto Velho/RO por meio da banda 6 do satélite Landsat-5 (TM), no entanto Lucena et al. (2010) explica que a temperatura referente a uma determinada banda de um sensor seja facilmente obtida, esta não determina de fato a temperatura da superfície, mas sim a temperatura de brilho, que corresponde à intensidade de radiação no topo da atmosfera, a qual é influenciada pelos constituintes atmosféricos. O presente estudo apresenta temperatura de superfície com correção da emissividade pela base do índice de vegetação, mas sem correção atmosférica.

A correção atmosférica exige dados de parâmetros atmosféricos como os de radiossondagem, temperatura e umidade relativa do ar diária. Os dados de temperatura de brilho são bastante utilizados nos estudos de clima urbano, que tem o papel simplesmente de mapeamento da temperatura visando identificar a ilha de calor urbana. Vale ressaltar que esta temperatura não representa de fato a temperatura da superfície urbana, pois não leva em conta a influência atmosférica e da superfície (LUCENA et al. 2010).

2.2.2. Imagens de satélites

Os produtos do sensoriamento remoto variam de fotografias aéreas (preto e branco, colorido, pancromático e infravermelho); as imagens multiespectrais; imagens de radar a imagens orbitais (COLTRI, 2006).

As fotografias e as imagens são representações dos espaços “vistos de cima”, ou seja, obtidas de uma visão vertical (a visão de um objeto visto do alto, de cima para baixo), também denominada de *nadir*², quando da visão oblíqua (um objeto visto de cima e um pouco do lado, como na janela de um avião) (FLORENZANO, 2007).

As imagens captadas pelos sensores eletrônicos são produzidas em preto e branco, que apresenta uma quantidade de energia refletida pelos objetos, deste modo, a imagem digital é constituída por um conjunto de elementos (dígitos) sob um formato de grade (linha e coluna), no qual cada grade possui uma coordenada espacial (x, y) (FLORENZANO, op. cit.; IBGE, 2001). Cada elemento desse conjunto está associado a um pixel, que indica uma intensidade de radiação eletromagnética da área da superfície terrestre. A intensidade de luz refletida ou o calor emitido é representado por um valor inteiro, não-negativo e finito, chamado de nível de cinza (NC, ou *digital number* - ND) em tonalidades de cinza que variam do preto (nível mínimo) ao branco (nível máximo) e que também se refere ao brilho do pixel (IBGE, 2001).

² É ponto diretamente abaixo do satélite ou plataforma.

Segundo Coltri (2006) em relação à banda termal, os tons de cinza mais claros correspondem maior temperatura da superfície registrada pelo sensor, enquanto que os tons de cinza mais escuros significam áreas de menor temperatura.

De acordo com o IBGE (2001) a imagem digital tem uma função bidimensional constituída por uma matriz $f(x, y)$, onde os valores de f são resultantes da intensidade (brilho) dos materiais da área correspondente ao pixel (coordenada x e y), que segundo Jensen (2009) cada pixel na linha e na coluna da imagem tem um valor de brilho (BV) associado (Figura 04).

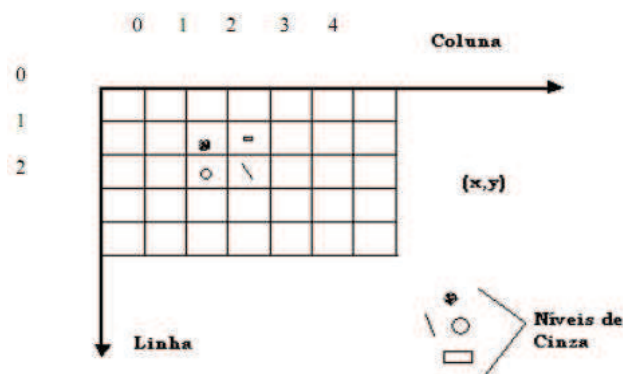


FIGURA 04. Sistema de Coordenadas de uma imagem digital.
Fonte: Coltri (2006, p. 69).

2.2.3. Resolução das imagens de satélite

O sensor ou câmera acoplado aos satélites foi projetado para fornecer um determinado nível de detalhe espacial, como a capacidade de “enxergar” ou distinguir os objetos da superfície terrestre que se refere à resolução (FLORENZANO, 2007; IBGE, 2001).

Assim, a resolução pode ser classificada em espectral, espacial, radiométrica e temporal:

a) Resolução Espectral: significa a capacidade de discriminar materiais em diferentes faixas de comprimento de onda (denominados de *bandas* ou canais) no espectro eletromagnético. Assim, quanto maior o número de canais espectrais maior é a capacidade discriminatória.

b) Resolução Espacial: é uma medida de menor separação angular ou linear entre dois objetos (JENSEN, 2009). Por exemplo, o satélite Landsat-7 ETM⁺ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) possui resolução espacial de 30 metros para as suas 6 bandas multiespectrais, o que vale dizer uma capacidade de distinguir objetos que medem, no terreno, 30 metros ou

mais. Vale ressaltar, que essa resolução depende do campo de visada do sensor (*Field of View*) e do campo de visada instantâneo do inglês *Instantaneous Field of View* (IFOV)³.

c) Resolução Radiométrica: é o nível de cinza de uma imagem expresso por números digitais binários (*bits*) (2^n). Conforme Jensen (2009) uma alta resolução radiométrica, aumenta a probabilidade de que os fenômenos sejam avaliados com maior exatidão. Uma resolução de 8 bits (1 byte) representa 256 níveis ($2^8 = 256$). Por exemplo, o satélite Landsat-4 e 5 TM (*Thematic Mapper*) registram dados em 8 (bits), ou seja, valores que variam de 0 a 255.

d) Resolução Temporal: é a frequência de imageamento que um sensor realiza para uma determinada área, refere-se à periodicidade ou repetitividade. Por exemplo, o Landsat-4 e 5 (TM) possui ciclos de 16 dias e o SPOT de 26 dias.

2.2.4. A série LANDSAT

O LANDSAT foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pelo Serviço Geológico conhecido como *U.S. Geological Survey* (USGS) tendo como objetivo a realização da cobertura quase que global da superfície terrestre, classificado na categoria de resolução espacial intermediária (IBGE, 2001).

A princípio a missão foi denominada de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), que no ano de 1975 passou a ser chamada de Landsat. O lançamento do primeiro satélite foi o Landsat-1 ou ERTS-1, aconteceu no ano de 1972, levando a bordo duas câmeras a *Return Beam Vidicom* (RBV) e a *Multispectral Scanner System* (MSS), usadas também no Landsat-2 (lançado em 1975) e no Landsat-3 (lançamento em 1978). As características da câmera RBV eram de possuir imagens diurnas operando nas regiões do visível e do infravermelho próximo (três canais) e com uma resolução espacial de 80 metros e temporal de 18 dias. A MSS possuía a mesma resolução espacial do sensor RBV, mas operava em quatro canais, além disso, com as versões desta câmera foi reduzido o tempo de revisita de 18 para 16 dias e sua resolução radiométrica passou de 6 bits (64 níveis) para 8 bits (256 níveis), deixando de operar em 1995 a bordo do satélite Landsat-5 (EMBRAPA, 2009).

O Landsat-4 (lançado em 1982) e o Landsat-5 (lançado em 1984 e ativo até os dias de hoje) carregavam a câmera MSS, e o acréscimo do sensor *Thematic Mapper* (TM), possibilitando melhores resoluções espacial, espectral, temporal e radiométrica. Esse sensor

³ De acordo com Novo (2010, p.80) o IFOV é o ângulo de visibilidade instantânea do sensor e determina a área da superfície terrestre que é vista “vista” por ele. O tamanho da área vista no terreno é determinada pelo IFOV e pela distância do sensor à superfície imageada.

opera em 7 canais espectrais, com uma resolução espacial de 30 metros para as bandas 1 a 5 e 7, sendo que a banda 6 (10,4-12,5 μ m) possui uma resolução de 120 metros.

Já o Landsat-6, lançado em 05 de outubro de 1993, carregava a bordo o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), melhor que o sensor TM, pois possuía uma banda a mais a 8 (pancromática de 15 metros de resolução), mas devido à falha de colocação em órbita caiu no mar. Assim, segundo Jensen (2009) o presidente dos Estados Unidos Bill Clinton, assinou um decreto referente à Política de Sensoriamento Remoto Terrestre autorizando a construção do Landsat-7, sendo lançado em 15 de abril de 1999, que carregava a bordo um sensor um pouco melhor que seu antecessor o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM⁺). O que diferencia o Landsat-7 dos L-4 e L-5 é a banda 6 (infravermelho termal) que tem uma resolução espacial de 60m e também uma banda pancromática de 15m (0,52-0,90 μ m). O quadro 03 apresenta uma síntese das características dos Landsats:

QUADRO 03. Características do LANDSAT- 1 ao LANDSAT 7

<i>Land Remote Sensing Satellite (Landsat)</i>							
Instituições Responsáveis	NASA (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>) e USGS (<i>U.S. Geological Survey</i>)						
País/Região	Estados Unidos (E.U.A)						
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7
Lançamento	23/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	5/10/1993	15/4/1999
Local de Lançamento	<i>Vandenberg Air Force Base</i>						
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Ativo	Inativo (05/10/1993)	Inativo (2003)
Órbita	Polar, heliossíncrona						
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,2°	98,2°	98,2°	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	103,3 min	103,3 min	103,3 min	99 min	99 min	98,9 min	98,9 min
Horário de Passagem	9h30 Manhã	9h30 Manhã	9h30 Manhã	9h45 Manhã	9h45 manhã	10h00 Manhã	10h00 manhã
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de Vida Projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	s.d.	5 anos
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM ⁺

Fonte: Embrapa monitoramento por satélite. Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 jul. 2011.

2.2.5. O infra vermelho termal

Como todo objeto do mundo real a uma temperatura de 0k (-273°C, 16°C) apresenta calor cinético e que ao ser convertido em energia radiante emite REM é possível o uso da tecnologia em sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

Coltri (2006) explica que os satélites com sensor infravermelho termal mensuram a radiação do topo da atmosfera e esses dados podem ser convertidos em temperatura aparente da superfície (*land surface temperature* – LST), estimadas segundo a *Lei de Planck*.

No ano de 1900, Max Planck realizou experimentos com corpos negros (*Black Body*). Esses corpos são uma esfera oca mantida a uma temperatura de superfície uniforme. Por exemplo, a Terra pode ser considerada como um corpo negro com temperatura equivalente a 300 K (NOVO, 2010). A lei de Planck estabelece que quanto maior a temperatura de um dado comprimento de onda, maior a quantidade de energia emitida por um corpo negro (*Black Body*).

Anjos et al. (2002) explica que a detecção das temperaturas de superfície é realizada pela banda 6 (faixa do infravermelho termal – 10,4µm a 12,4µm), no qual o sensor registra o fluxo de energia emitido dos alvos terrestres, possibilitando a aquisição da temperatura dos mesmos.

Outro aspecto a ser considerado no estudo da faixa do infravermelho termal é a emissividade, que vai depender do tipo de material e do comprimento de onda. Jensen (2009) explica que o mundo não é composto de corpos negros radiadores, e sim por corpos que radiam seletivamente, sendo a rocha, solo, vegetação e água, que emitem uma certa proporção da energia de um corpo negro à mesma temperatura.

Assim, o estudo da *emissividade* se torna relevante, pelo fato que dois objetos que estejam próximos um ao outro no terreno podem ter a mesma temperatura cinética verdadeira, mas com diferentes temperaturas aparentes quando medidas por sensoriamento remoto, sua emissividade é diferente, Jensen (2009).

2.2.6. O uso do sensoriamento remoto para a detecção de anomalias térmicas

As técnicas são variadas para o estudo de clima urbano, principalmente, na identificação de anomalias térmicas. Esses estudos podem ser realizados por mini-abrigos meteorológicos, ou usando equipamentos de temperatura e umidade do ar em transectos móveis, e outra possibilidade é o emprego de imagens de satélites para aferição de temperatura do ar do alvo da superfície terrestre.

As anomalias térmicas podem ser ocasionadas pelo efeito da ilha de calor (IC) que estão relacionadas ao aumento de temperatura do ar, atuantes em pontos da cidade com maior urbanização, do que em áreas rurais, por exemplo.

Neste sentido destacam-se alguns estudos de clima urbano utilizando técnicas de sensoriamento remoto:

a) Nos anos 80, Lombardo (1985) elaborou um estudo da formação da ilha de calor na cidade de São Paulo, utilizando imagens de satélite (NOAA, Landsat) para análise das condições térmicas e o uso e ocupação da terra, tornando-se referência para os próximos estudos no Brasil.

b) Assim, cerca de dez anos após o estudo de Lombardo (1985), Mendonça utilizou imagem Landsat (TM) para verificação do campo térmico urbano na cidade de Londrina. Outro trabalho utilizando a imagem Landsat para identificação do campo térmico foi realizado por Collishon na região metropolitana de Porto Alegre (MENDONÇA e MONTEIRO, 2003).

c) Anjos; Lopes e Marcelino (2002) realizaram um estudo de ilhas de calor na cidade de Manaus/AM, por meio das imagens de satélites Landsat-5 (TM). A imagem é do ano de 1989, processada no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Imagem Georreferenciados - versão 3.5.1) desenvolvidos nos aplicativos *Impima* e no LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Conforme os autores, o estudo apresentou resultados satisfatórios, estimando com precisão as temperaturas da superfície da cidade de Manaus.

d) Castro (2010) desenvolveu um estudo em Belém/PA com imagens do Landsat-5 (TM) dos anos de 1997 e 2008, no qual detectou um aumento das ilhas de calor no ano de 2008 em relação ao ano de 1997, devido ao aumento da expansão urbana concomitante retirada da cobertura vegetal.

Neste sentido, o fenômeno ilhas de calor é ocasionado pelo processo de ocupação e o desenvolvimento de grandes cidades. Esse processo ocorre a partir de uma mobilidade têmporo-espacial, logo as imagens de satélites podem auxiliar na compreensão do processo de organização e transformação do espaço. O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para fins de monitoramento e quantificação de áreas de modo a contribuir para os estudos ambientais em áreas urbanas.

Portanto, a presente pesquisa realiza um estudo de análise espaço-temporal da densidade de cobertura vegetal e das anomalias térmicas encontradas através das imagens de satélites Landsat-5 (TM) dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011, adaptado ao Sistema Clima

Urbano, com as regiões de análise (insumo, transformação, produção e percepção), de modo a subsidiar os estudos urbanísticos, em Porto Velho no que tange o conforto térmico.

CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. CARACTERÍSTICAS: HISTÓRICO TERRITORIAL E FÍSIOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO, RO

A cidade tem sua origem no ano de 1907, com a construção da estação inicial da ferrovia da Estrada de Ferro Madeira Mamoré⁴ (EFMM). Porto Velho passou por vários momentos de surtos migratórios advindos da exploração da borracha, da cassiterita, do ouro e, quando o Estado foi elevado à categoria de Território, a capital passou a concentrar os serviços administrativos. Como bem explica Nascimento (2009), a cúpula do governo é instalada, concentrando uma gama de serviços como bancos, postos de saúde e estabelecimentos de ensino. Essas heranças deixadas pelos ciclos econômicos promoveram um processo de urbanização intenso que permanece até os dias atuais, frutos das estratégias de segurança nacional e de resolução de problemas sociais no nordeste e sul/sudeste do país.

Atualmente, Porto Velho passa por mais um ciclo econômico, e também social e cultural, devido à construção e instalação de duas hidroelétricas no rio Madeira (Santo Antônio e Jirau) que deverão garantir a produção de energia para o Brasil. As obras fazem parte do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) do Governo Federal. A população do município de Porto de Velho, de 1980 a 2010, em urbana e rural (Gráfico 01).

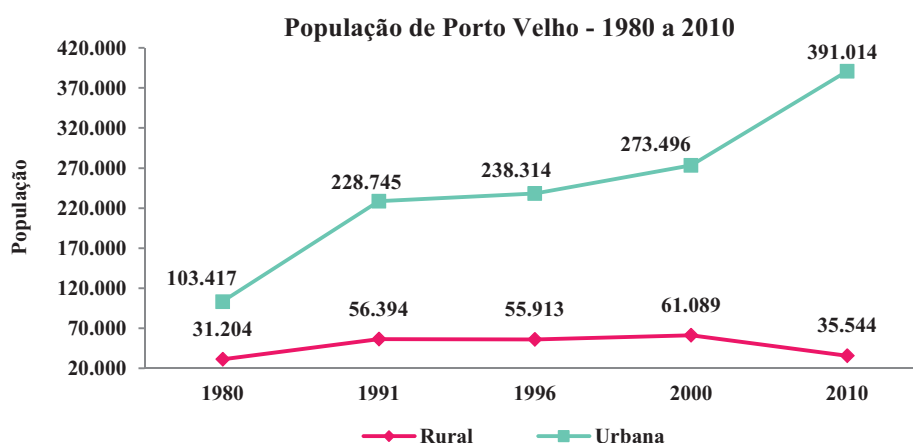


GRÁFICO 1. População de Porto Velho/RO – período de 1980 a 2010

Fonte: IBGE, SIDRA

⁴ O Tratado de Petrópolis, em 1903, é um acordo entre Brasil e Bolívia. A Bolívia renunciava o direito sobre o território (atual estado do Acre), através do pagamento por parte do Brasil de 2.000.000 de libras esterlinas, além disso, obrigava ao Brasil a construir uma ferrovia que contornasse o trecho encachoeirado do rio Madeira, com os extremos Santo Antônio no rio Madeira e Guajará-Mirim no rio Mamoré até vila Murtinho, próximo a confluência do rio Beni com o rio Mamoré, para facilitar o transporte de mercadorias Villa Bella (Bolívia) (NASCIMENTO (2009) apud TEIXEIRA; FONSECA (2002).

Os efeitos do aumento da população urbana constituem na transformação espacial, realizada na diminuição de áreas verdes, além do aumento das construções horizontais e verticais, parques quase sem arborização, estacionamentos, sistema viário, entre outros, construídos com diferentes materiais que absorvem mais radiação solar incrementando o fenômeno da ilha de calor.

Porto Velho, capital do estado de Rondônia, situada na Amazônia Meridional, possui uma área urbana de 116,90 km² (PORTO VELHO, 2008). A sua configuração atual encontra-se subdividida em 04 zonas, partindo da zona central composta pelo primeiro núcleo de ocupação temos a zona norte, sul e leste. Como a cidade surgiu às margens do Rio Madeira esse foi o ponto de partida para o avanço da ocupação urbana da cidade. A **zona central** é o núcleo de ocupação inicial que parte, a Oeste das margens do Rio Madeira e seguem até a Avenida Guaporé a Leste, ao Norte, delimitada pela Avenida Costa e Silva e ao Sul pelo BR-364. A **zona Norte** que segue do sul pela Avenida Costa e Silva que dá acesso ao porto e a balsa que permitem a travessia do rio Madeira. E a **zona Leste** limita-se com a zona central a Oeste e ao Sul com a BR-364. Já a **zona Sul** trata-se da porção separada da zona central pela BR-364, Figura 05.

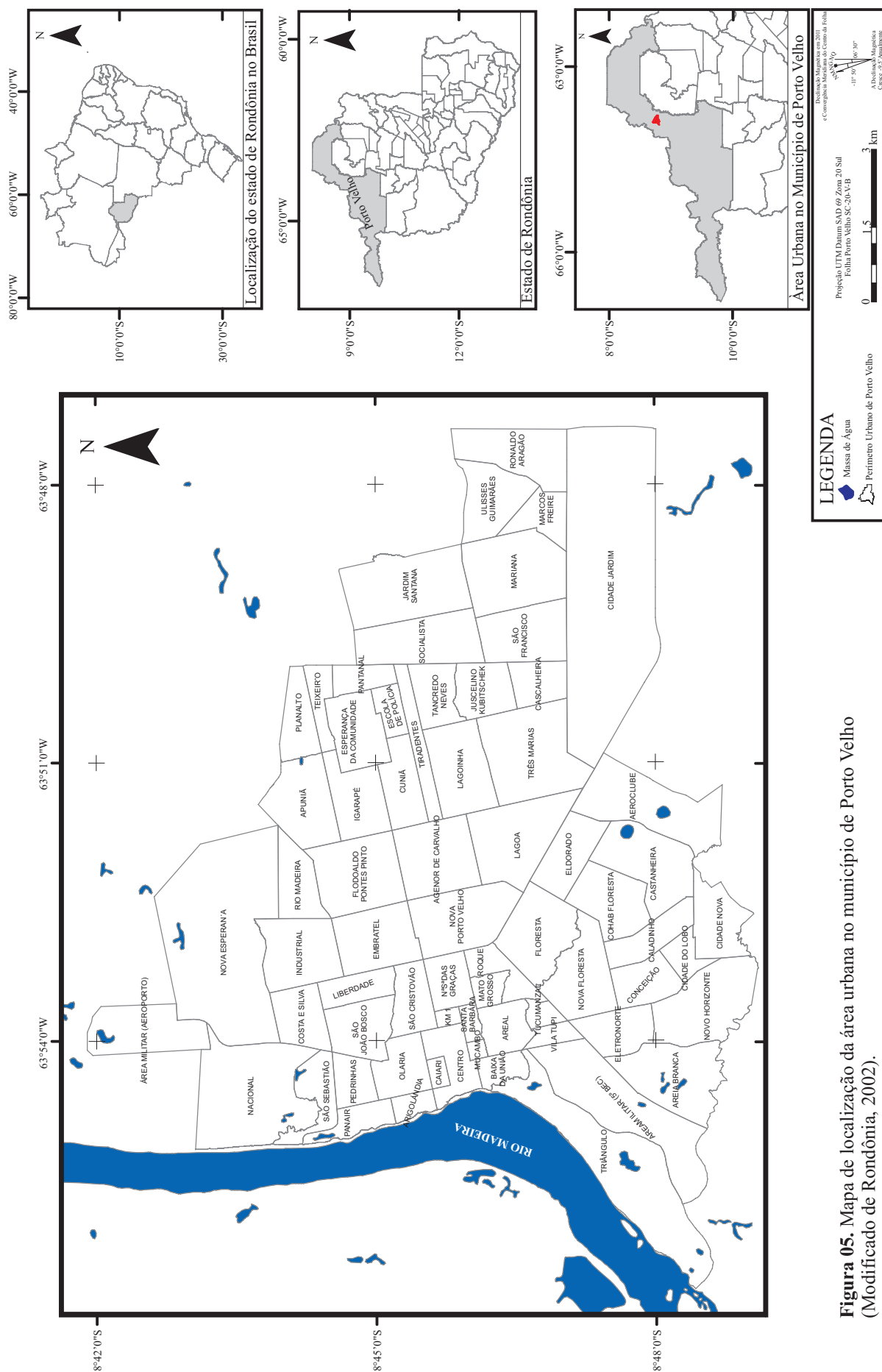


Figura 05. Mapa de localização da área urbana no município de Porto Velho (Modificado de Rondônia, 2002).

3.1.1. Geomorfologia

De acordo com Souza e Rueda (2007), o município de Porto Velho apresenta as seguintes unidades geomorfológicas: terrenos aluvionares atuais, terraços, áreas alagadas, leque aluvial, áreas de escoamento impedido, agrupamento de morros e colinas, planalto e superfície tabular. A cidade de Porto Velho está situada em uma área de planalto baixo (< 200 m) que compreendem antigas planícies deposicionais aluviais, localizadas em diferentes altitudes, devido aos efeitos epirogenéticos. A planície deposicional aluvial é do período quaternário e corresponde aos sedimentos das planícies de inundação e das calhas atuais do curso d'água (FILHO et al. 2010). Esses sedimentos são inconsolidados e de cores variadas entre tons avermelhados, amarronzados e acinzentados ocorrentes em áreas de baixa declividade.

3.1.2. Pedologia

A classe pedológica que predomina no estado é o *Latossolo* com 58%. Em Porto Velho prevalece o Latossolo Amarelo com características de boa drenagem, mas com baixa fertilidade natural. Outra classe pedológica encontrada é o Latossolo Vermelho-Amarelo com atributos de boa drenagem e baixa a fertilidade natural (IBGE, 2007).

3.1.3. Hidrografia

Porto Velho está localizado à margem direita do rio Madeira. O afluente rio Madeira faz parte da grande bacia hidrográfica do rio Amazonas, compreendida pela sub-bacia do Madeira, tendo como principais rios: o Madeira, o Candeias, e o Jamari.

O rio Madeira nasce na Cordilheira dos Andes com o nome de rio Beni, e desce em direção ao norte para a Planície Amazônica, onde recebe pela margem direita, o rio Mamoré, marco geográfico que divide o Brasil e a Bolívia, formando o rio Madeira. A partir de então, o rio passa a percorrer na direção nordeste, até chegar ao município de Porto Velho (SILVA, 2010). As suas águas são classificadas de águas brancas, isto é, barrentas, devido à elevação de partículas sólidas em suspensão na época das chuvas.

Neste sentido, o estudo realizado por Santos e Ferreira (2010) revelam a situação do igarapé Belmont, localizado no perímetro urbano da cidade de Porto Velho/RO. Segundo esses autores, os moradores sofrem com a falta de saneamento básico e água potável. O serviço de água tratada para a cidade não chega a atender 30% da população, apesar, de em virtude das obras da Companhia de Água e Esgotos do Estado de Rondônia (CAERD), haver a previsão de atender quase 70% da população em 2012. A coleta de esgoto doméstico atende

apenas 3% da população e o tratamento dos esgotos não chega a 1%. Esses fatores em conjunto obrigam a população a utilizar poços Amazônicos de profundidade variada para o consumo de água e as fossas negras para deposição de seus dejetos.

3.1.4. Vegetação

Na área urbana de Porto Velho, o tipo de vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Aberta, que ocupa maior área ainda vegetada. A sua composição florística e o relevo revelam quatro faces, uma delas de ocorrência na área de estudo, a *Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas*, disposta em relevo plano a suavemente ondulado, não ultrapassando os 100 m de altitude e é caracterizada por apresentar indivíduos arbóreos bastante espaçados de porte médio a baixo em torno de 30 metros, o espaçamento dos bosques e sub-bosques frequentemente são preenchidos por espécies variadas de cipós (SILVA e VINHA, 2002).

3.1.5. Clima

Durante o verão amazônico (inverno no hemisfério sul), as massas de ar frio e seco de origem polar atingem a Amazônia Meridional pela calha da cordilheira dos Andes, provocando queda nas temperaturas de até 15°C, com ápice no mês de julho (SANTOS NETO e NÓBREGA, 2008). Nimer (1989) afirma que a atuação desses sistemas frontais é pouco frequente e, às vezes, podem ser acompanhadas de chuvas frontais, pois, quando do seu término, é substituída por um leve chuveiro ou nevoeiro. A breve estiagem ocorrida nesse período é devido à menor frequência de atuação dos sistemas da massa de ar equatorial continental e da ZCIT (NIMER, 1989), além da atuação da massa de ar tropical atlântica correspondente ao (ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul), que resulta em céu claro e ausência de chuvas (LUCAS, 2007). Para Molion (1987), o período seco é gerado pelo ramo leste da componente zonal, conhecida como circulação de *Walker* que inibe a formação de nuvens e precipitação menor de 1 mm/dia e também quando a Alta da Bolívia enfraquece-se, promovendo o período seco. Segundo Fish (1996), não somente a célula de *Walker* (leste-oeste), mas também a célula de *Hadley* (norte-sul) provocam os baixos índices pluviométricos; sendo assim essas, células atuam simultaneamente.

Já durante o inverno amazônico (verão no Hemisfério Sul), a Alta da Bolívia (AB) ocorre pelo aquecimento na média troposfera, que contribui para a liberação de calor latente e sensível sobre o altiplano boliviano em alto nível (200 hPa), formando, assim, um anticiclone em altos níveis que é responsável pelos totais pluviométricos no período da estação chuvosa (CARVALHO, 1989; CUTRIM et al. 2000). Outro fenômeno atmosférico que traz elevados

totais pluviométricos são as Linhas de Instabilidade (LIs) que, ao adentrar para o continente, formam grandes conglomerados de cúmulos-nimbos (*Cb*), devido à atividade convectiva, o que resulta em altos índices pluviométricos.

Nesse período a mEc é atuante e provoca instabilidade convectiva sujeita a frequente condensação, a umidade relativa é elevada, formando desta maneira grandes cúmulos-nimbos (*Cb*) e, ainda, precipitação abundante (NIMER, 1989).

Em relação à análise das Normais Climatológicas de 1975-1990, o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) atribui a Porto Velho uma temperatura média anual de 25°C, com máxima de 31°C e mínima de 21°C. Os meses mais quentes são agosto e setembro (33°C) e o mês de julho (18°C) pode atingir a menor temperatura do ar. A umidade relativa do ar a média anual é de 85%, com máxima de 89% em Janeiro, e mínima no mês de julho (80%). A pressão atmosférica revela uma média anual de 999,6 (hPa), com maior valor para o mês de junho (1005,3 hPa) e menor em abril (993,5 hPa). Quanto à precipitação pluvial, foi avaliada pela normal com uma média anual de 2353,7 mm, e o menor índice acontece no mês de julho (22,6 mm), já o maior valor atinge em janeiro (346,8 mm), (BRASIL, 1992).

CAPÍTULO 4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

Para o presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais: levantamento de informações bibliográficas, aquisição dos dados da estação meteorológica (82824-SBPV), dados de sensores orbitais, dados cartográficos vetoriais da área de estudo e informações de temperatura e umidade do ar intra-urbana.

4.1.1. Aquisição do acervo bibliográfico

O levantamento de informações bibliográficas foi realizado na biblioteca da UNIR – Fundação Universidade Federal de Rondônia, no laboratório LABOGEOPA (Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental), localizado no campus Porto Velho, BR-364 (Km 9,5) e na Divisão de Meteorologia e Climatologia do Sistema de Proteção da Amazônia – CR Porto Velho (DIVMET- SIPAM) e também em livros particulares e em publicações científicas disponíveis na rede mundial de computadores.

4.1.2. Dados da estação meteorológica de superfície

A Estação Meteorológica de Superfície está localizada no Aeroporto Internacional Gov. Jorge Teixeira, nas dependências da Base Aérea de Porto Velho/RO, situada entre o paralelo 08°42', de latitude sul e, 063°54', de longitude oeste, e com altitude de 87,8 m (Figura 06).

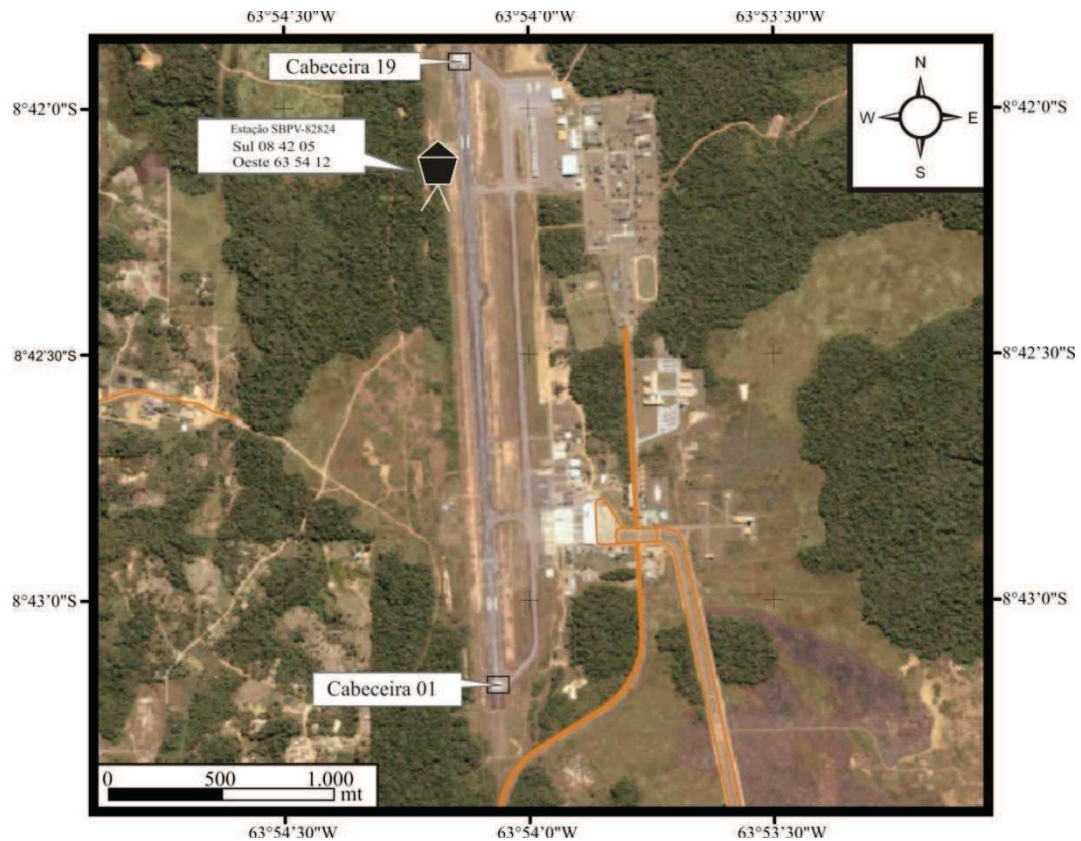


FIGURA 06. Localização da estação meteorológica entre as cabeceiras 19 e 01 do Aeroporto Internacional Gov. Jorge Teixeira em Porto Velho/RO
 Fonte: SPOT (2009).

Os parâmetros climáticos analisados foram pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluvial dos anos de 1982 a 2011, que serviram de base para a análise climática na região do Insumo. Esses dados foram adquiridos na Divisão de Meteorologia e Climatologia do Sistema de Proteção da Amazônia – CR Porto Velho (DIVMET- SIPAM), dos anos de 1982 a 1998. Para complemento da série temporal, utilizaram-se informações dos sites que estão disponíveis gratuitamente: OGIMET (www.ogimet.com), dos anos de 1999 a 2011, e do *History Weather Underground* (www.wunderground.com), dos anos de 1996 a 2011. Os dados de temperatura média do ar foram disponibilizados somente até o ano de 1999. Para os subsequentes anos, utilizou-se a média aritmética dos valores de temperatura máxima e mínima (°C) de 2000 a 2011. Deste modo foi possível completar a série temporal da temperatura média do ar até 2011.

A Tabela 02 corresponde à síntese dos parâmetros, organizados no banco de dados climáticos.

TABELA 02. Série histórica de 29 anos dos parâmetros climáticos utilizados

ANO	TEMPO	PARÂMETRO CLIMÁTICO	FONTE
1982-1998	16	Pressão Atmosférica	SIPAM
1999-2011	12	Pressão Atmosférica	OGIMET
1982-1999	17	Temperatura média do ar	SIPAM
2000-2011	11	Temperatura média do ar	OGIMET
1983-2011	28	Temperatura máxima e mínima do ar	SIPAM / OGIMET
1999-2011	12	Precipitação Pluvial	OGIMET
1996-2011	15	Umidade Relativa média do ar	<i>History Weather Underground</i>

4.1.3. Dados de sensores remotos

Foram utilizadas imagens de satélite LANDSAT-5, sensor TM, em diferentes datas, adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2011), através do catálogo on-line de imagens (Divisão de Geração de Imagens – DGI / <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) disponível na página eletrônica desta instituição.

Os dados de sensores orbitais do LANDSAT-5 (TM) são da órbita/ponto (232/66), que é a cena que abrange a área urbana da cidade de Porto Velho/RO, nos dias 29 de Julho de 1985, 25 de Julho de 1995, 23 de Julho de 2006 e 06 de Agosto de 2011. O horário de passagem equatorial, segundo o metadata das imagens, foram 09h50 para a imagem de 1985, 09h25 para imagem de 1995, 10h13 para a imagem de 2006 e 10h09 para a imagem de 2011, ajustados para hora local. Os meses de junho, julho e agosto foram definidos pela baixa cobertura de nuvens nesse período, devido à estação seca (verão amazônico). A escolha dos anos de 1985 a 2011 são para efeito de comparação com os estudos climáticos da estação meteorológica realizados no presente trabalho.

O satélite Landsat-5 (TM) possui as seguintes características em relação as sete bandas, tendo o destaque para as bandas 3, 4 e 6 sendo as mais utilizadas na presente pesquisa (Tabela 03):

TABELA 03. Características do satélite Landsat-5 (TM)

Band a	Intervalo espectral	Região do Espectro	Resolução Espacial	Principais Aplicações
1	0,45 - 0,52µm	Azul	30	Diferenciação solo/vegetação em virtude da absorção de pigmentos das plantas nessa região do espectro/diferenciação entre espécies decíduas e coníferas.
2	0,52 – 0,60µm	Verde	30	Permite diferenciar o vigor da vegetação pela maior sensibilidade à reflectância no verde.
3	0,63 – 0,69µm	Vermelho	30	Diferenciação de espécies de plantas em função da presença de pigmentos da clorofila. Também permite discriminar solo exposto e vegetação.
4	0,76 – 0,90µm	Infra vermelho próximo	30	Permite avaliar a biomassa da cobertura vegetal, e também mapear corpos d'água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta absorção dessa faixa pelas superfícies líquidas.
5	1,55 – 1,75µm	IV médio	30	Permite detectar a umidade da cobertura vegetal, pois essa região do espectro é sensível à presença de água no tecido foliar.
6	10,4 – 12,5µm	IV termal	120	Essa banda mede a quantidade de energia radiante infravermelha emitida das superfícies. A temperatura aparente é uma função da emissividade e da temperatura verdadeira (cinética) da superfície.
7	2,08 – 2,35µm	IV médio	30	Importante para discriminação de formações geológicas de rochas e útil para a identificação de áreas sujeitas a alterações hidrotermais.

Fonte: Novo (2010); Jensen (2009)

As imagens de 1985, 1995, 2006 e 2011 foram utilizadas para o cálculo das temperaturas de superfície (banda 6) e para verificação da densidade de vegetação, na área de estudo (bandas 3 e 4).

4.1.4. Dados cartográficos

A base de dados cartográficos vetoriais utilizados na presente pesquisa foi da divisão do município, de estradas (estadual, federal, municipal), de bairros (perímetro urbano) e de drenagem do estado de Rondônia, com base em Rondônia (2002). Essa faz parte da 2ª Aproximação do Zoneamento Socioeconômico e Ecológico (ZSEE) do Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia (PLANAFLORO) com atualização cartográfica em (2004), disponibilizados em formato *Shapefile* (SHP). Além disso, adotou-se o sistema *Universal Transversal de Mercator* (UTM), o mais empregado em atividades científicas e comerciais, com o *datum* SAD-69, na zona 20.

4.1.5. Informações pontuais de temperatura e umidade do ar

As informações do monitoramento térmico fazem parte do projeto de pesquisa da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) intitulada “Estudo preliminar sobre clima urbano na cidade de Porto Velho (RO)” realizado pelo Profº MSc. Rafael Rodrigues da Franca (coordenador e professor do Departamento de Geografia), em parceria com a Companhia de Águas e Esgotos do estado de Rondônia (CAERD).

Os dados de temperatura e umidade do ar foram adquiridos por meio do monitoramento térmico em 08 pontos distintos da área urbana de Porto Velho (diferentes arranjos que compõem o sítio urbano), no período de fevereiro a maio de 2011, realizados simultaneamente em dias e horários definidos em conjunto pelos observadores que foram a campo. As medições foram propositalmente realizadas em dias da semana, horários e condições meteorológicas variadas.

4.2. MÉTODO DE ANÁLISE

O método de análise utilizado foi com base no Canal de Percepção Humana (I), proposto por Monteiro (1976) em *Teoria do Clima Urbano*, apenas de caráter teórico-metodológico. Essa teoria do Sistema Clima Urbano foi adaptado para a presente área de estudo, devido às particularidades locais e climáticas e os avanços na tecnologia de estudo do clima urbano como uso de imagens satélites iniciadas com Magda Lombardo na cidade de São Paulo.

Através do diagrama do Canal de Percepção Humana I- Conforto Térmico do subsistema Termodinâmico, adaptou-se para a área de estudo, com enfoque para as regiões de Insumo, Transformação, Produção e Percepção, conforme o organograma (Figura 07).

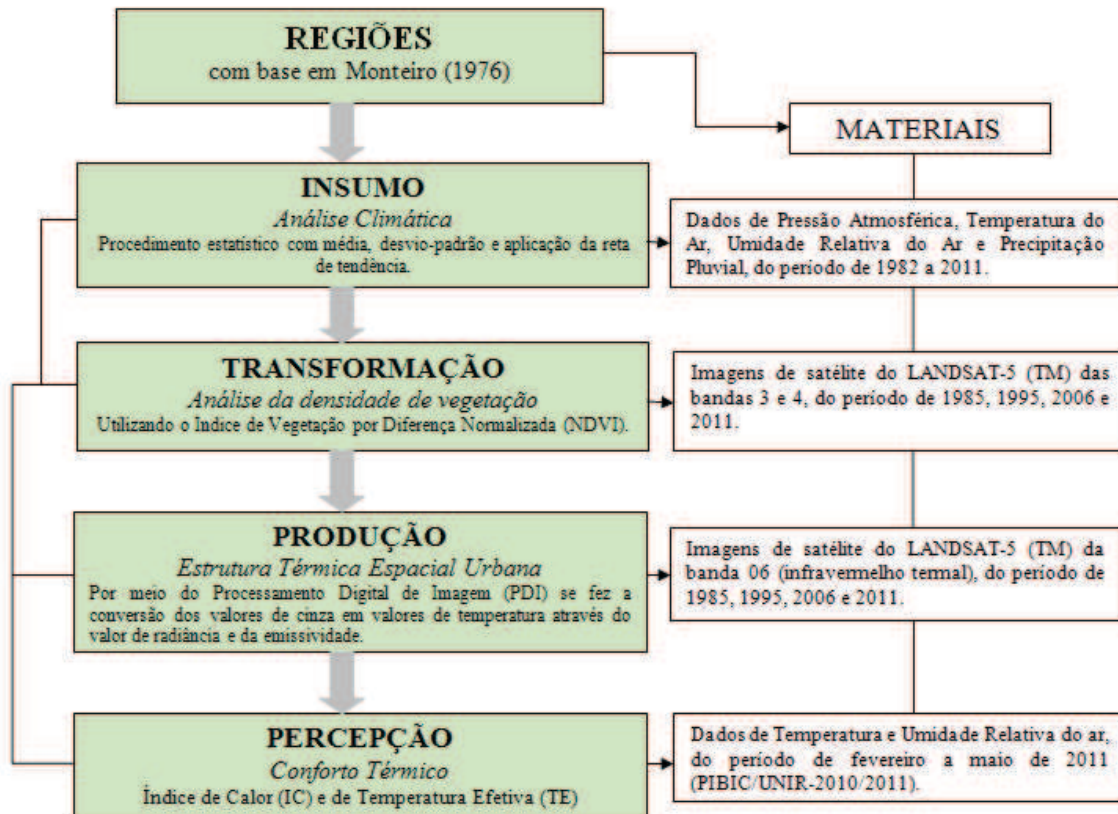


FIGURA 07. Fluxograma dos procedimentos metodológicos fundamentados em Monteiro (1976)
Org.: por Graziela Tosini Tejas (2011)

Para efetuação desse método foram utilizados 04 procedimentos metodológicos fundamentados em estudos recentes:

a) Optou-se pela técnica do sensoriamento remoto no levantamento de informações de densidade de vegetação e temperatura de superfície, com auxílio dos estudos de Castro (2009), realizado na cidade de Belém/PA, de Anjos et al. (2002) pesquisa desenvolvida na cidade de Manaus/AM, e do trabalho de Lima e Amorim (2011) executado na cidade de Nova Andradina/MS.

b) Os procedimentos estatísticos também foram inseridos para análise dos dados climáticos da estação meteorológica do aeroporto, com base em Mochizuki et al. (2006).

c) Para análise do conforto térmico utilizou-se dois índices: Índice de Calor (IC) com base em Nóbrega e Lemos (2011) é o Índice de Temperatura Efetiva (TE) por Gouvêa (2007).

4.3. TÉCNICAS DE ANÁLISE CLIMÁTICA, SENSORIAMENTO REMOTO E CONFORTO TÉRMICO

4.3.1. Técnica de análise climática

Para a etapa da região **Insumo** foi preciso elaborar um banco de dados climáticos em dias, meses e anos, realizado no programa *MS-Excel*, por ser uma ferramenta que possibilita operar o tratamento estatístico e a representação gráfica.

As informações geradas do site *OGIMET*, com base no NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e no *History Weather Underground* foram organizadas em um banco de dados captados por uma estação meteorológica. Para a obtenção de dados históricos (diários) desses sites, é sempre necessário inserir o código sinótico definido pela ICAO (Organização da Aviação Civil Internacional) correspondente à estação meteorológica. No caso da presente pesquisa, o código sinótico foi o 82824, que trata da estação meteorológica de superfície do Aeroporto Internacional de Porto Velho Governador Jorge Teixeira (SBPV).

O método utilizado nesta região do Insumo é baseado em Mochizuki et al. (2006), que analisa a variabilidade através da média e do desvio-padrão e a análise de tendência que se aplicou a reta de tendência.

A média é encontrada quando se adiciona todos os valores e se divide o resultado pelo número total de ocorrências ($M = \sum x / n$). Já o desvio-padrão, é a raiz da média dos quadrados dos desvios em relação à média do conjunto representado por s ($s = \sqrt{\quad}$). Assim, quanto maior for a dispersão ou a variabilidade maior será o desvio-padrão, enquanto que um desvio-padrão menor traduz em menor variabilidade, com valores mais próximos da média. Os desvios apresentados acima e abaixo da média climatológica foram atribuídos de anomalias positivas e negativas.

Para análise de tendência dentro da série temporal, utilizou-se a reta de tendência (cálculos da regressão linear), expressando o aumento ou a diminuição dos valores dos parâmetros.

4.3.2. Técnicas de sensoriamento remoto

As etapas das regiões **Transformação e Produção**, em conformidade com o método de análise, consistem no processamento digital das imagens (Imagens de satélite Landsat-5) utilizando o *software* SPRING (Sistema de Processamento de Imagem Georreferenciados – versão 5.1.8), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e seus aplicativos *Impima* e *LEGAL* (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). O

LEGAL é uma ferramenta de análise espacial que consiste em descrever um procedimento na linguagem de consulta e manipulação espacial, realizando assim operações sobre dados dos tipos: Mapa Temático e Imagem (INPE, 2011).

4.3.3. Tratamentos das imagens

Os procedimentos realizados no tratamento das imagens foram adaptados com base em Castro (2009), Anjos et al. (2002), Lima e Amorim (2011) com os seguintes passos:

a) Após a aquisição das imagens no catálogo *on-line* do INPE: foram salvas em um único arquivo com suas respectivas datas e bandas. Em seguida, utilizando o aplicativo *Impima* do *software* SPRING, realizou-se a conversão das imagens do formato TIFF (*Tagged Image File Format*) (*.tiff*) para o formato *SPG*, de modo que se possa ser registrada.

b) Registro das imagens: Durante a aquisição das informações dos alvos para o sensor, acontecem certas distorções como: rotação da Terra, movimento relativo entre a Terra e o satélite, entre outros. Para a correção destas distorções, geralmente é realizado a correção geométrica, em que há a remoção dos erros sistemáticos. No caso do presente trabalho, o registro da imagem foi realizado no SPRING, no modo Tela com o interpolador vizinho mais próximo, através do modelo matemático polinomial de 1º Grau, cujos parâmetros são determinados a partir das coordenadas de pontos de controle (INPE, 2011). Para um melhor desempenho deste modelo foi necessário uma boa distribuição dos pontos de controle (vias de acesso, drenagem), totalizando em 10 pontos com erro inferior a 0,5 “pixel” apenas, os pontos se fundamentaram a partir da imagem ortorretificada, do ano de 2005, do LANDSAT-5 TM, *Geocover*, adquirido na página eletrônica *Global Land Cover Facility* (GLCF – <http://www.landcover.org>.) com projeção *UTM* e datum SAD-69 (NASA, 2011). Os registros das imagens foram realizados para as Bandas 3, 4 e 6 nos respectivos anos.

c) Recorte da Imagem: Para realização desse procedimento, utilizou-se a base vetorial de bairros de Porto Velho (formato *shapefile*) seguido do recorte para o perímetro urbano para diminuição do tamanho do arquivo e o processamento digital.

d) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): O índice é expresso por:

$$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)$$

Onde:

ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo;

ρ_V é a reflectância no vermelho

O uso dos índices de vegetação tem o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, em especial nas regiões do visível (vermelho) e do infravermelho próximo. Louzada et al. (2009) explica que os dados de reflectância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação, tendo por finalidade ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, assim o NDVI é um dos índices de vegetação mais utilizado.

O cálculo de NDVI foi realizado com a banda 3 (0,63µm a 0,69µm) e com a banda 4 (0,76µm a 0,90µm) dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011. Ponzoni e Shimabukuro (2009) explicam que os níveis de cinza estão distribuídos entre 0 e 256 (8 bits), em que a imagem apresenta diferentes tons de cinza que estão relacionados a valores de NDVI que variam entre -1 e +1. Ainda segundo os autores, os **tons de cinza mais claro** estão relacionados a valores de NDVI mais elevado, caracterizando áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto os **tons mais escuros** (níveis de cinza próximo a zero) são valores mais baixos o que representa áreas com menor quantidade de vegetação, que correspondem a alvos urbanos como área construída, solo exposto e água.

A aplicação do índice de vegetação refere-se ao cálculo de imagens de reflectância aparente de acordo com a equação geral proposta por Markham e Baker (1987) e com a geração do índice de vegetação normalizada. A geração de grade com valores reais de reflectância aparente é dada pela seguinte fórmula:

$$R = (\pi * d^2 / E * \cos(t)) * [(ND/ND_{\max}) * (L_{\max} - L_{\min}) + L_{\min}]$$

R: reflectância aparente

d: distância Terra-Sol (149.600.000 km)

cos (t): ângulo solar zenital (graus), calculado para a cada ano

E: irradiância solar média no topo da atmosfera (mW/cm².Ω.µm)

ND: nível de cinza ou digital do pixel

ND_{max}: ND máximo possível

L_{max}: radiância espectral mínima para gerar um valor digital máximo igual a 255 (mW/cm².Ω.µm)

L_{min}: radiância espectral correspondente ao número digital zero (mW/cm².Ω.µm)

O cosseno (**cos(t)**) foi calculado de acordo com os anos das imagens, através das informações do ângulo zenital solar de cada metadata da imagem, conforme tabela 04:

TABELA 04. Cálculos do ângulo zenital solar das imagens de satélites dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011.

Ano da Imagem do satélite	Ângulo Zenital Solar	$\cos(t)$
29/07/1985	52.6019	0,607349
25/07/1995	55.7294	0,563102
23/07/2006	46.2585	0,691405
06/08/2011	50.9959	0,629376

Após realização do cálculo do NDVI, de acordo com Lima e Amorim (2011) foi necessário aumentar o contraste entre solo e vegetação, utilizando-se a razão entre bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo, através da seguinte equação:

$$\text{NDVI} = \text{Ganho} * ((B4 - B3) / (B4 + B3)) + \text{Offset}$$

B4= Banda 4 (infravermelho próximo)

B3= Banda 3 (vermelho)

Utilizaram-se os parâmetros de Ganho=127 e Offset=128, conforme Lima e Amorim (2011).

As fórmulas foram aplicadas no programa LEGAL do SPRING, executada para os anos de 1985, 1995, 2006 e 2011, conforme a operação abaixo:

```
{
Imagem tm385, tm485, IV285 ("ImagemTM");
MNT re385, re485, NDVI85 ("Reflec85");
MNT NDVI ("ImgNDVI85");
Imagem IV2 ("NDVI-refalg85");

pi = 3.1415926;
cost = 0.607349;
d = 1.49600;
lmin3 = -0.12;
lmax3 = 20.43;
lmin4 = -0.15;
lmax4 = 20.62;
e3 = 155.7;
e4 = 104.7;
ndmax = 255;
ganho = 127;
offset = 128;
tm385 = Recupere( Nome = "B3-85" );
tm485 = Recupere( Nome = "B4-85" );
re385 = Novo( Nome = "B3-85", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000);
re485 = Novo( Nome = "B4-85", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000);
NDVI = Novo( Nome = "IV-refalg", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000);
IV2 = Novo( Nome = "NDVI-refalg85", ResX = 30, ResY = 30);
re385 = MNT ((pi* (d^2)/e3*cost)*((tm385/ndmax)*(lmax3-lmin3)+lmin3));
re485 = MNT ((pi* (d^2)/e4*cost)*((tm485/ndmax)*(lmax4-lmin4)+lmin4));
NDVI = (re485-re385)/(re485+re385);
IV2 = Imagem (ganho*((re485 - re385)/(re485+re385))+ offset);}
```

Este exemplo aplicado ao índice de vegetação para o ano de 1985 utilizando as bandas 3 e 4. A operação foi processada para os demais anos, somente alterando o ano e o valor de $\cos(t)$.

Ao executar o programa legal criou-se um modelo numérico do terreno (MNT) recurso do SPRING, em que a imagem passou por processo de fatiamento gerando um mapa temático de NDVI, possuindo 04 classes com base em Amorim e Lima (2011):

- i. Vegetação inexistente (vermelho) – são as áreas em que os pixels apresentavam valores perto da cor preta.
- ii. Baixa densidade de vegetação (cinza) – são as áreas com tons de cinza escuro.
- iii. Média densidade de vegetação (verde lima) – são as áreas com tons intermediários de cinza.
- iv. Floresta Ómbrofila Aberta (verde escuro) – refere-se às áreas que apresentaram tons mais claros de cinza.

e) **Conversão dos valores de níveis de cinza em temperatura:** Para a conversão dos números digitais da imagem registrada pelo satélite em valores de radiância, com variação entre 0 e 255 utilizou-se a seguinte expressão, conforme Souza e Silva (2005):

$$L(\lambda) = L(\lambda)_{\min} + [L(\lambda)_{\max} - L(\lambda)_{\min}] Q_{ND} / Q_{\max}$$

em que:

$L(\lambda)$ é o valor da radiância;

$L(\lambda)_{\min}$ é a radiância espectral que está relacionado com o DN_{\min} ;

$L(\lambda)_{\max}$ é a radiância espectral que está relacionado com o DN_{\max} ;

ND é o número digital

Q_{\max} 255 é o ND máximo para uma conversão

TABELA 05. Faixa de radiância espectral do Landsat-5 (TM) da Banda 6

Landsat -5 (TM) Banda 6 10,45 – 12,42 μm	$L(\lambda)_{\min}$	$L(\lambda)_{\max}$
	1.2378	1.5303

Fonte: Chander (2009)

Após conversão dos níveis de cinza em valores de radiância, é aplicada a emissividade da superfície definindo uma relação com índice de vegetação (NDVI), procedimento já realizado (item c). A emissividade foi fundamentada em Souza e Silva (2005), onde a equação é expressa da seguinte forma:

$$\varepsilon = 1,009 + 0,047 * \ln(\text{NDVI})$$

ε Emissividade da superfície
 \ln é o logaritmo neperiano

Bias et al. (2003) explica que quanto maior a temperatura para um dado comprimento de onda, maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro. Se o sensor capta a emissão de fótons de um alvo, ou seja, sua emissividade, pode-se determinar a sua temperatura.

Por conseguinte, efetuou-se o cálculo para temperatura de superfície tendo como base os valores da emissividade, conforme equação:

$$T_{ss} = K_2 / \ln(\varepsilon K_1 / L\lambda + 1) - 273,15$$

T_{ss} é a temperatura de superfície com correção de emissividade
 O K_1 e K_2 são constantes de calibração fornecidas pela NASA, onde $K_1=607,76$ e $K_2=1260,56$. Próprias do Landsat-5 (TM).
 ε Emissividade da superfície
 \ln é o logaritmo neperiano
 $L(\lambda)$ é o valor da radiância

Ressalta-se que a não correção atmosférica da T_b pode acarretar em variação da temperatura na ordem de 1°C a 5°C em relação a temperatura do ar (FOLHES, 2007).

As equações 1, 2, e 3 foram executadas também no programa LEGAL do SPRING, após a etapa de processamento do NDVI, conforme o exemplo abaixo do ano de 1985 com a banda 6:

```
{
//Programa para transformar DN em Radiância conforme equação de (Souza e Silva, 2005)
Imagem VB61985 ("ImagemTM");
Digital VB61985RADT ("CAT_MNT");
VB61985= Recupere( Nome = "B6-85" );
VB61985RADT= Novo( Nome = "B61985RADT" , ResX = 120 , ResY = 120 , Escala = 50000);

Lmax=15.303;
Lmin=1.2378;
DNmax=255;
DNmin=0;

//VB61985RADT= ((Lmax-Lmin)/(DNmax-DNmin))*(Digital (VB61985))-DNmin)+Lmin;
VB61985RADT= Lmin+((Lmax-Lmin)/DNmax) *(Digital (VB61985));
}
```



```
{
MNT E1985 ("Emi1985");
MNT NDVI1985 ("ImgNDVI85");

NDVI1985 = Recuperar( Nome = "IV-refalg");
E1985 = Novo( Nome = "E11985" , ResX = 30 , ResY = 30 , Escala = 50000);
E1985 = 1.009 + 0.047 *log( NDVI1985);
}
```

```
{
//Programa para transformar EMISSIVIDADE EM TS, conforme equação de Wukelic apud Souza e Silva
(2005)
Digital VB61985RADT,VB61985TEMBINT,VB61985TEMBFINT ("CAT_MNT");
MNT Emis1985 ("Emi1985");
VB61985RADT = Recuperar( Nome = "B61985RADT");
Emis1985 = Recuperar( Nome = "E11985" );
VB61985TEMBINT = Novo( Nome = "B6-1985TEMBINT", ResX = 120 , ResY = 120, Escala = 50000);
VB61985TEMBFINT = Novo( Nome = "B6-1985TEMBFINT", ResX = 120 , ResY = 120, Escala = 50000);
K2=1260.56;
K1=607.76;
TF=273.15;
VB61985TEMBINT= Emis1985*K1/VB61985RADT+1;
VB61985TEMBFINT=(K2/(log(VB61985TEMBINT)))- 273.15;
}
```

4.3.4. Técnica de análise do conforto térmico

Nesta análise foram utilizados dados de temperatura e umidade relativa do ar, medidos em diferentes dias da semana e horários por meio de termo-higrômetros digital da marca MINIPA, modelo MT-242, espalhados em 08 pontos distintos da área urbana de Porto Velho/RO, no período de fevereiro a maio de 2011.

A partir destas informações de temperatura e umidade relativa do ar foram aplicados os dois índices de conforto térmico, denominados de:

a) Índice de Calor, com base em Nóbrega e Lemos (2011), descrito conforme a equação:

$$IC = -42,379 + 2,04901523.T + 10,14333127.UR - 0,22475541.T.UR - 6,83783.10^{-3}.T^2 - 5,481717 \times 10^{-2}.UR^2 + 1,22874.10^{-3}.T^2.UR + 8,5282.10^{-4}.T.UR^2 - 1,99.10^{-6}.T^2.UR^2$$

Em que:

IC é dado em °F.

T é a temperatura do ar real (temperatura do bulbo seco) dada em °F e UR é a umidade relativa do ar dada em %.

Através do resultado do (IC) convertidos em °C é avaliado os níveis de alerta e suas consequências à saúde humana, conforme Tabela 06:

TABELA 06. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do IC

Nível de Alerta	Índice de Calor	Síndrome de Calor (sintomas)
Perigo extremo	54° C ou mais	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 – 54° C	Câimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1° - 41° C	Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas de atividade física.
Cautela	27,1 – 32° C	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Não há alerta	Menor que 27° C	Não há problemas

Fonte: *National Weather Service Eather Forecast Office*, NOAA. Nóbrega & Lemos (2011).

b) Índice de Temperatura Efetiva (TE) conforme Gouvêa (2007) indicado para ambientes externos, através da seguinte equação:

$$TE = T - 0,4 (T-10) (1 - UR/100)$$

Em que T é a temperatura do ar em °C e UR é a umidade relativa em %.

Após os resultados da (TE) em °C é avaliado pela classificação do conforto térmico, conforme Tabela 07:

TABELA 07. Classificação das condições de conforto térmico humano dado pela temperatura efetiva

TE (°C)	Sensação térmica humana
> 30	Calor extremo
24 a 30	Calor moderado
18 a 24	Agradável – levemente quente
12 a 18	Agradável – levemente fresco
0 a 12	Fresco
-12 a 0	Frio
< -12	Frio extremo

Fonte: Gouvêa (2007) *apud* HENTSCHEL (1986; citado em SUPING et al.,1992)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. REGIÃO DE INSUMO: ANÁLISE DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

A região do Insumo apresenta uma análise climática temporal dos principais elementos climáticos, a fim de verificar suas variações e tendências, no sentido de auxiliar as próximas regiões de análise, de modo a conhecer o comportamento dos elementos climáticos. A série histórica utilizada é da estação meteorológica de superfície (EMS) do aeroporto Gov. Jorge Teixeira (SBPV-82824) do período de 1982 a 2011.

5.1.1. Pressão atmosférica

Os dados de pressão atmosférica analisados referem-se ao período entre 1982 e 2011. Conforme análises realizadas, a média climatológica anual foi de 1010,7 hPa, e ainda, a observação mensal mostra que a maior pressão ocorre no mês de julho, com 1012,9 hPa. Esse valor encontrado na estação seca é justificado pela influência das massas de ar frio de origem polar, associadas a sistemas de alta pressão, que invadem o sul da Amazônia. Em relação à menor pressão mensal, ela ocorre no mês de novembro (1008,9 hPa), período da estação chuvosa. Referente à mesma análise obteve-se o dado de que o maior desvio-padrão mensal é de 1,2 hPa e acontece em maio, considerado um mês de transição para a estação seca (Gráfico 02).

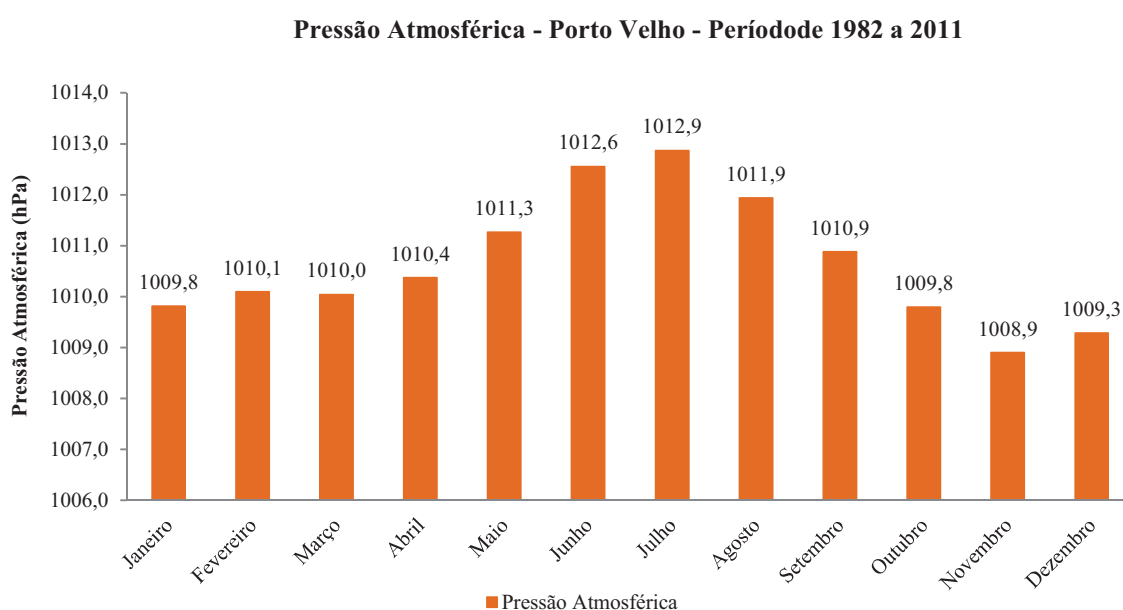


GRÁFICO 02. Pressão atmosférica – Porto Velho – Período de 1982 a 2011
Fonte: SIPAM e OGIMET

O estudo da variabilidade interanual mostra que o valor mais elevado de pressão atmosférica ocorreu no ano de 1994, com 1011,5 hPa, que pode estar diretamente relacionado à entrada de anticiclones polar (frio e seco), evento comum na região amazônica, principalmente no mês de julho, e também pode ser resultado da maior persistência de massas de ar quente e seco sobre a região. Já o menor valor registrado foi no ano de 1992, com 1009,8 hPa. O resultado do teste de regressão linear indica uma ligeira tendência de aumento da pressão atmosférica, no período de 1982 a 2011 (Gráfico 03).

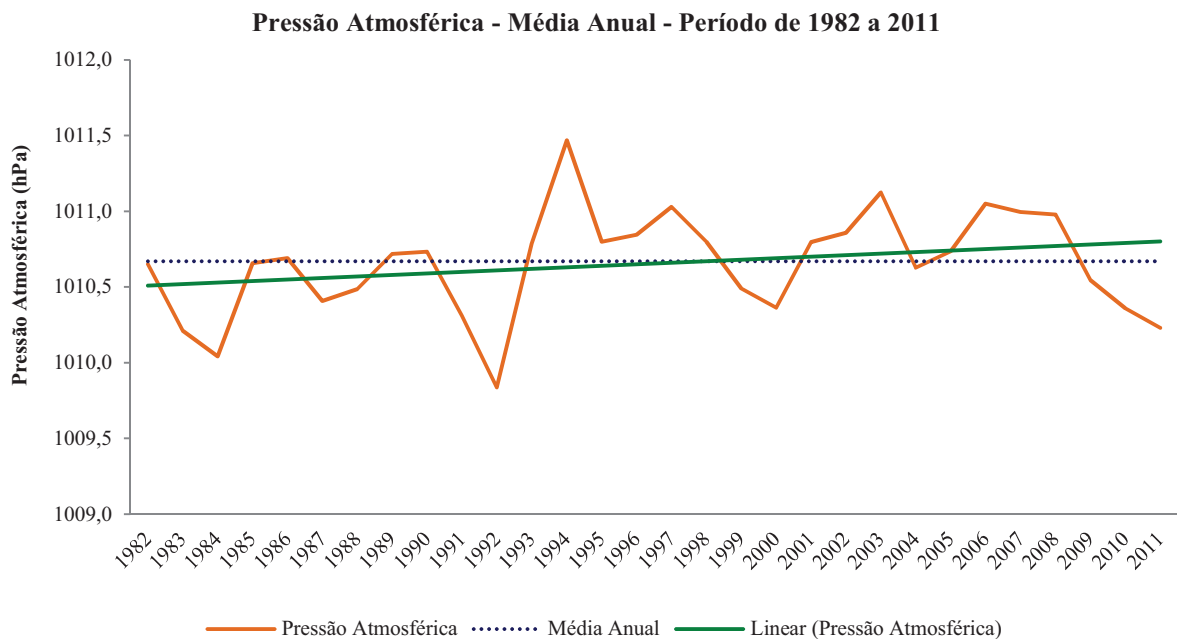


GRÁFICO 03. Pressão atmosférica – média anual - Porto Velho – Período de 1982 a 2011
Fonte: SIPAM e OGIMET

Os desvios positivos observados no (Gráfico 03) para os anos de 1994, 1997, 2003 e 2006 estavam sob a influência do fenômeno *El Niño*. Sendo que, em anos de *El Niño* a atuação da anomalia da célula de *Walker* resulta no aumento da pressão atmosférica (NECHET; ANDRADE, 1998). Quanto as anomalias negativas observadas nos anos de 1984, 1987, 1992, 2000 e 2011, com valores inferiores a 1010 (hPa), coincidem com a ocorrência de *La Niña*. No ano de 1984, esse fenômeno foi de fraca intensidade, enquanto que os anos de 1987, 1992 e 2010 foram períodos que antecederam o *El Niño* e o ano de 2000 precedeu o *La Niña*.

Os resultados da pressão atmosférica em comparação com Normais Climatológicas (INMET⁵) (BRASIL, 1992) apresentam uma diferença de 17,1 hPa, por exemplo, no mês de maio (Gráfico 04). Essa disparidade se deve a altitude, pois a variação entre a estação do aeroporto e do INMET é de 08 metros, e quanto maior for a altitude menor será a pressão atmosférica, inviabilizando uma comparação com esse parâmetro.

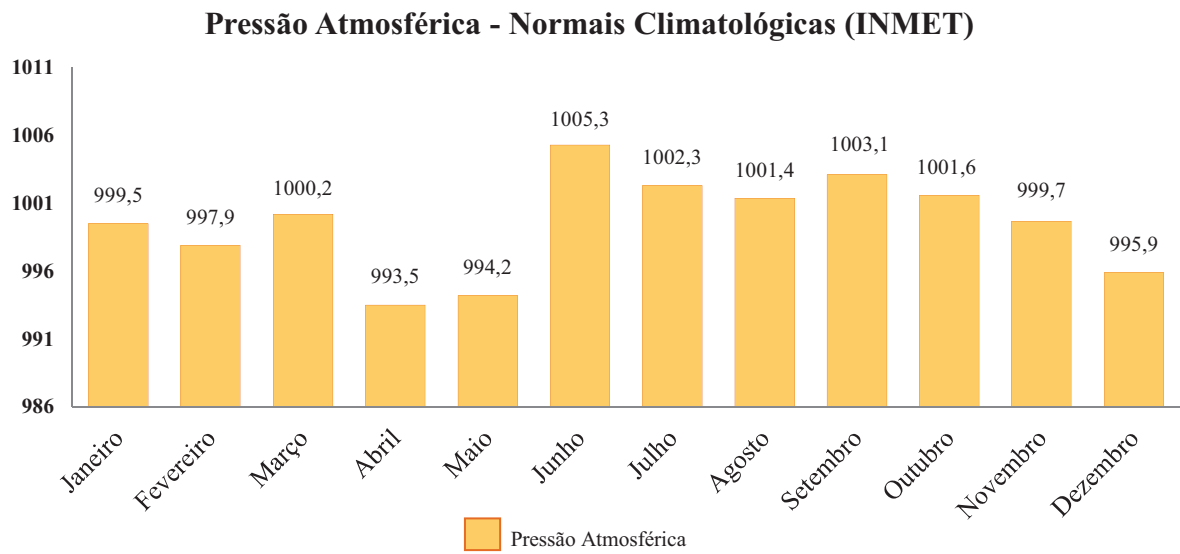


GRÁFICO 04. Pressão atmosférica – normais climatológicas- Porto Velho – Período de 1975 a 1990
Fonte: BRASIL, 1992.

⁵ A estação meteorológica do INMET está situada nas dependências da EMBRAPA/CPAF-RO (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia), localizada na zona leste e suas coordenadas são latitude 08°46'S, longitude 63°55'W e altitude de 95 metros.

5.1.2. Temperatura máxima

A temperatura máxima do ar apresentou uma média climatológica anual de 31,9°C, com maior valor no mês de agosto (33,8°C) e o menor no mês de janeiro (30,8°C). O maior desvio-padrão foi de 1,17°C, para o mês de junho (Gráfico 05).

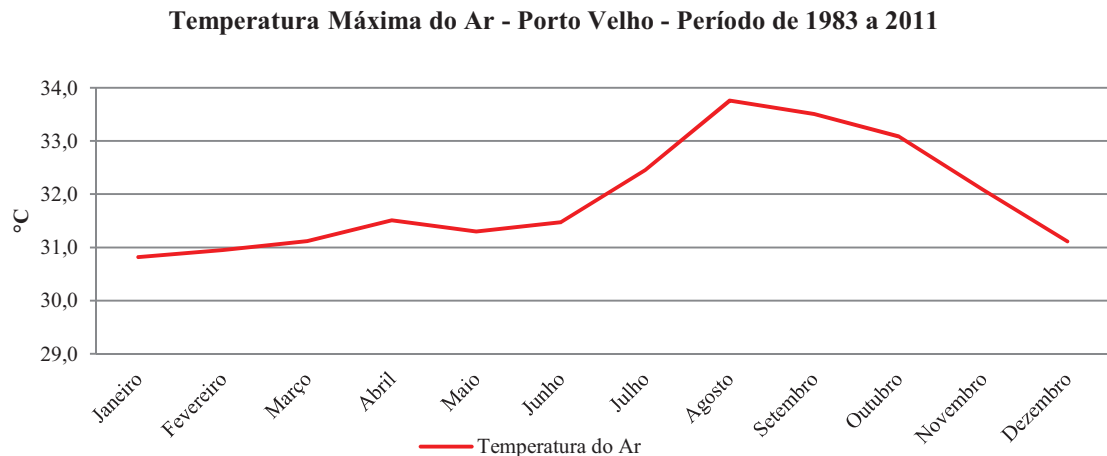


GRÁFICO 05. Temperatura máxima do ar – Porto Velho – Período de 1983 a 2011
Fonte: SIPAM e OGIMET

O comportamento interanual apresentou um maior valor no ano de 1998, com 33,4°C, período em que ocorreu o *El Niño*, já no ano de 2011 observou também um aumento da temperatura máxima com 33,2°C, que pode estar relacionado ao uso e ocupação da terra, como relata Back (2001) o surgimento das chamadas ilhas de calor devido à urbanização produz o aquecimento da atmosfera que afeta os registros de temperatura, uma vez que a maioria das estações meteorológicas se encontra próximas aos centros urbanos.

Quanto aos desvios negativos nos anos de 1990, 2001 (31,2°C), 2008 (31,4°C) considerados anos de ocorrência da *La Niña*. A aplicação do teste de regressão linear ao parâmetro revelou uma ligeira tendência de aumento (Gráfico 06).

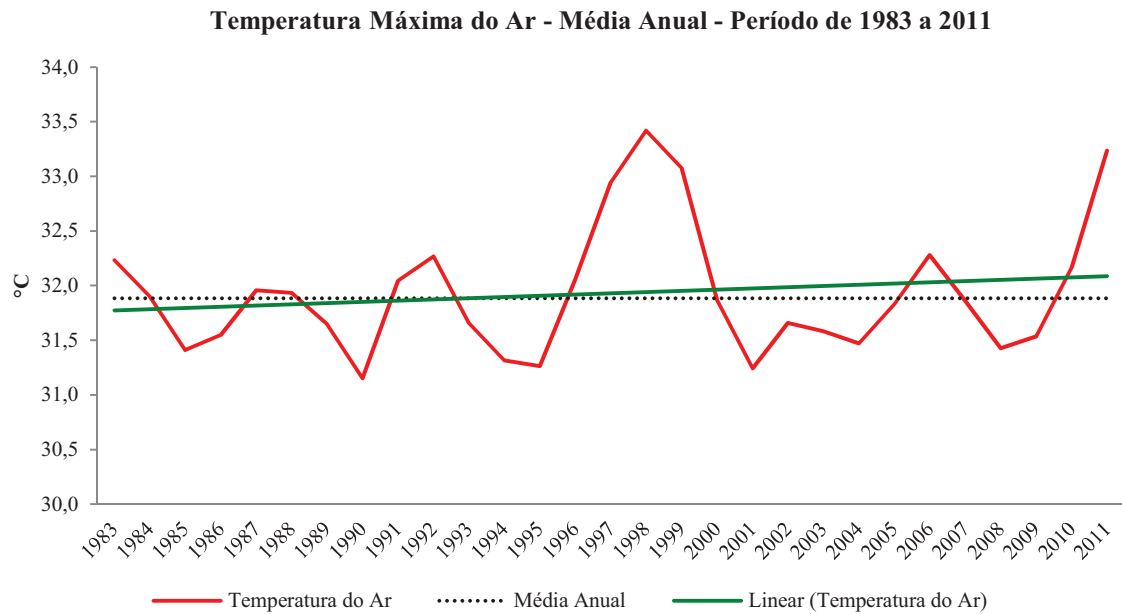


GRÁFICO 06. Temperatura máxima do Ar – média anual - Porto Velho – Período de 1983 a 2011
 Fonte: SIPAM e OGIMET

5.1.3. Temperatura média

O parâmetro temperatura média é referente ao período de 1983 a 2011. A partir das informações, obteve-se uma média climatológica anual da temperatura média do ar de 26,9°C, além disso, os maiores valores da temperatura média do ar ocorrem nos meses de setembro (27,7°C) e outubro (27,8°C) e os menores valores no mês de junho e julho com 26,3°C. Já o maior desvio-padrão encontrado foi em outubro (1,25°C) (Gráfico 07).

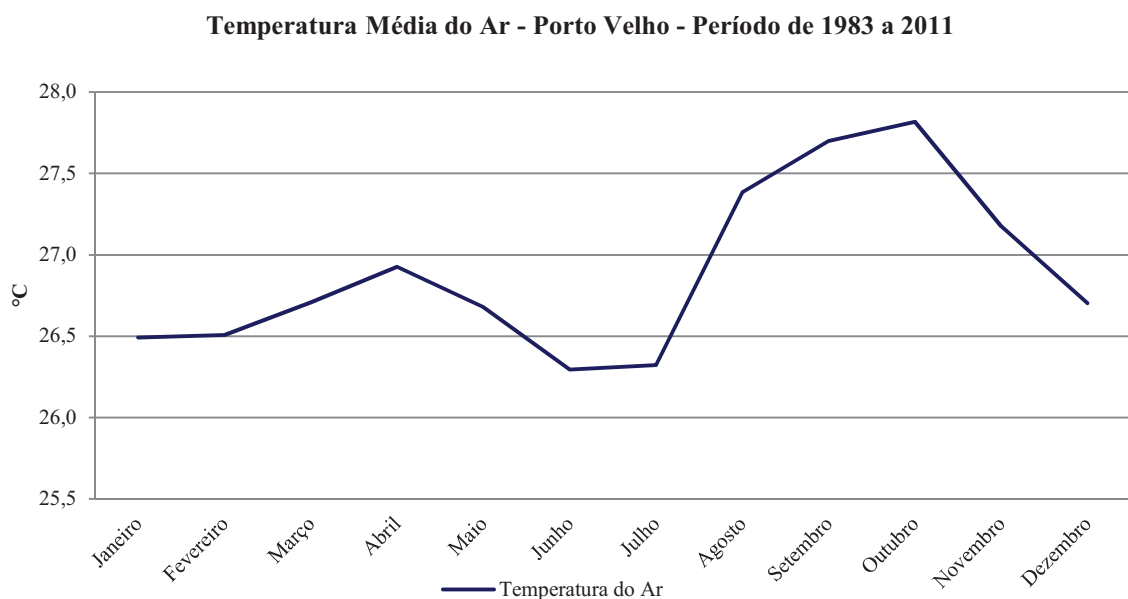


GRÁFICO 07. Temperatura média do ar – Porto Velho – Período de 1983 a 2011
 Fonte: SIPAM e OGIMET

A análise interanual indicou maior valor no ano de 2011, com 28,6 °C, e o menor valor nos anos de 1984 e 1985, com 25,7°C cada. Finalmente, a aplicação da regressão linear revelou um aumento de quase 2°C na tendência da temperatura média do ar do período de 1983 a 2011 (Gráfico 08).

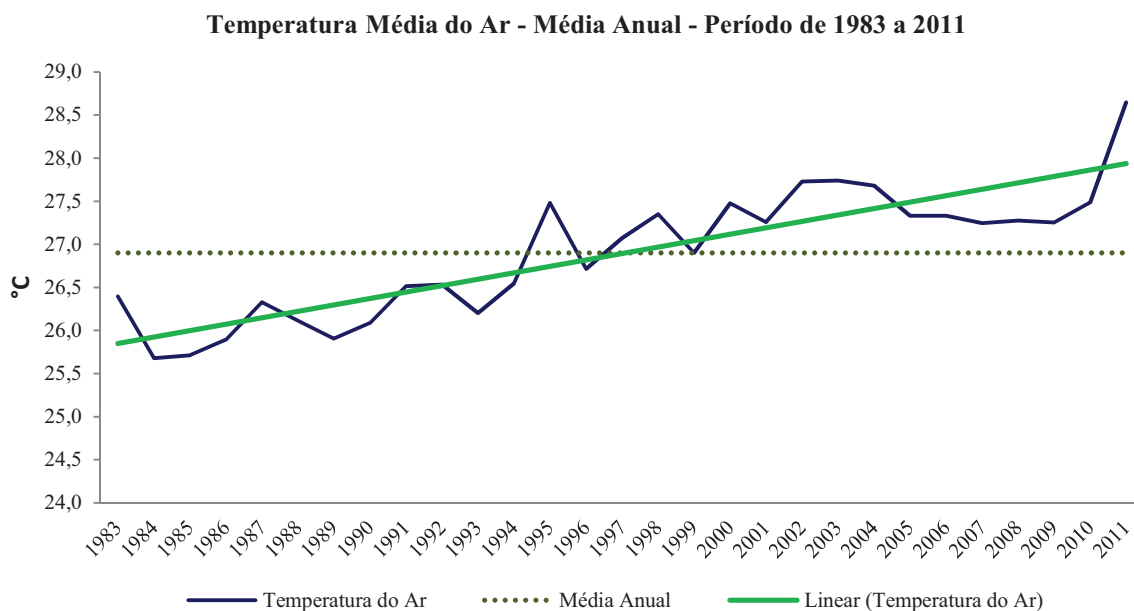


GRÁFICO 08. Temperatura Média do Ar – Média Anual - Porto Velho – Período de 1983 a 2011
Fonte: SIPAM e OGIMET

A temperatura média do ar apresentou esse aumento de até 1,8°C, principalmente a partir dos anos de 1990. Segundo os autores Silva (2010); Nascimento (2009), configura-se como período de maior ação antrópica na região, bem como o aumento da expansão urbana. A comparação dos resultados desta pesquisa com os dados da Normal Climatológica revelou uma variação positiva de até 2,7°C, para o mês de junho. Essa oscilação pode estar relacionada ao aumento da pressão antropogênica sobre os aspectos fisiográficos a que a área de estudo esteve recentemente submetida.

5.1.4. Temperatura mínima

O parâmetro climatológico da temperatura mínima do ar, referente ao período de 1983 a 2011, apresentou uma média climatológica anual de 22,9°C, e menor valor no mês de julho com 20,9°C, devido à entrada ocasional de massas de ar polar (com características de fria e seca). Em relação ao maior valor, ele foi encontrado no mês de outubro, 23,7°C. O maior desvio-padrão também foi em outubro (1,46°C) (Gráfico 09).

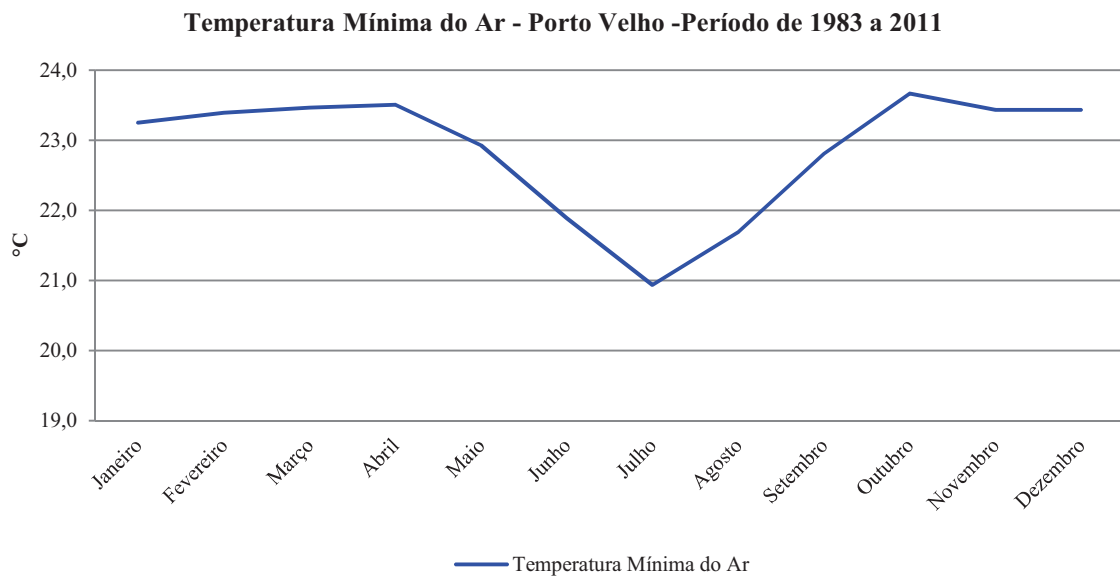


GRÁFICO 09. Temperatura mínima do ar – Porto Velho – Período de 1983 a 2011
 Fonte: SIPAM e OGIMET

Na análise da variabilidade interanual, a temperatura mínima do ar apresentou desvio positivo no ano de 2011 de 24,1°C e desvio negativo, no ano de 1984, com 21,9°C. Com aplicação do teste de regressão linear, a linha de tendência indicou um ligeiro aumento da temperatura mínima do ar em até 1,5°C, no período de 1983 a 2011 (Gráfico 10).

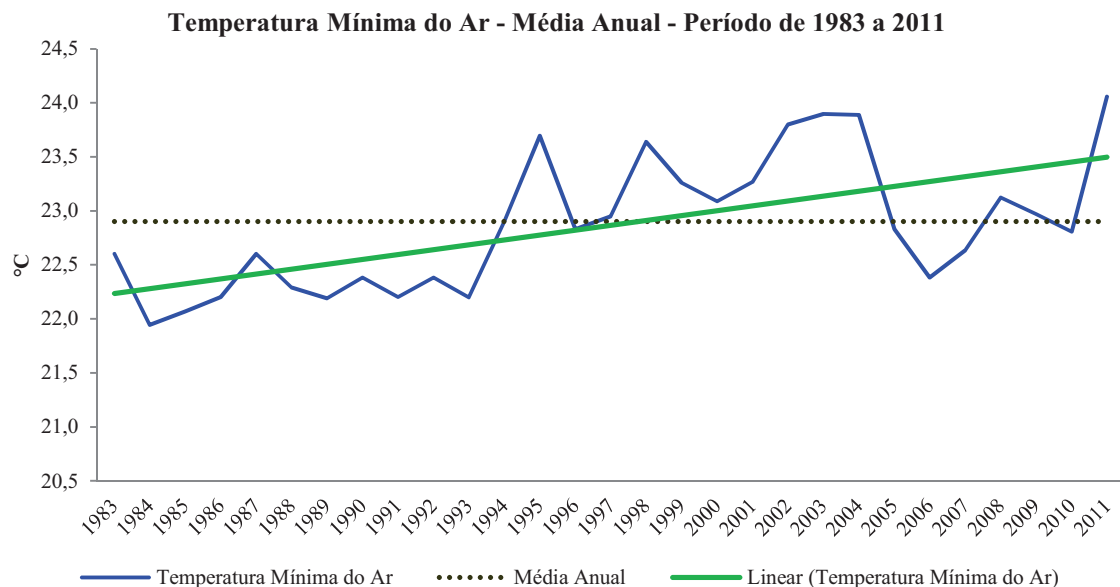


GRÁFICO 10. Temperatura mínima do ar – média anual - Porto Velho – Período de 1983 a 2011
 Fonte: SIPAM e OGIMET

A temperatura mínima do ar indicou um aumento em até 1,5°C a partir de 1994. Ao comparar esses resultados com os dados da Normal Climatológica, verificou-se uma variação de 1°C a 2°C para todos os meses analisados. Esses dados coincidem com os estudos de

Marengo & Valverde (2007) em análise dos cenários de clima do futuro (até 2100), os quais, comparar os indicadores de ocupação com os índices climáticos, apontaram para tendências positivas mais intensas para a temperatura mínima que para a temperatura máxima. Ressalta-se, ainda, que o aumento da temperatura mínima do ar pode estar associado às perdas radiativas noturnas.

Conforme análise dos dados de Temperatura máxima e mínima do ar com as Normais Climatológicas apontam para uma diferença de 1°C entre os resultados mensais e observa-se um incremento nos valores em todos esses meses (Gráfico 11).

Os resultados das médias mensais da Temperatura Média do ar em comparação com a Normal Climatológica mostraram diferença entre os resultados, por exemplo, em junho com 2,7°C de variação (Gráfico 11). Essa oscilação percebida no decorrer de outros meses pode ser explicada pela localização das estações meteorológicas, nas quais os aspectos do espaço físico interferem na caracterização térmica dentro da urbe.

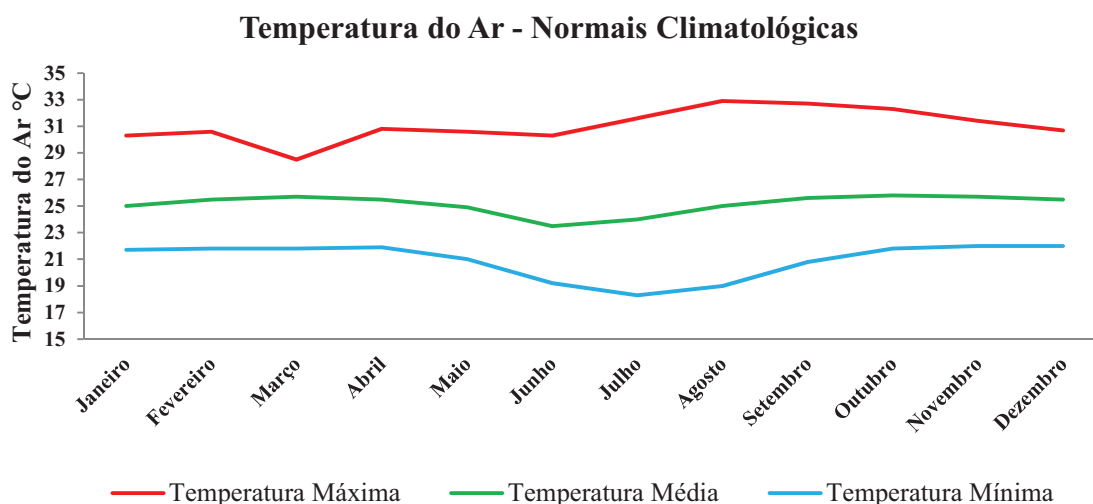


GRÁFICO 11. Temperatura do ar – normais climatológicas - Porto Velho – Período de 1975 a 1990
 Fonte: BRASIL, 1992

5.1.5. Umidade relativa do ar

O parâmetro de umidade relativa média do ar refere-se ao período de 1996 a 2011. Ao analisar o parâmetro climatológico em questão, obteve-se uma média climatológica de 83,6%, além disso, o menor valor foi de 72,4%, no mês de agosto, e o maior com 89,3%, no mês de fevereiro. Já o maior desvio-padrão ocorreu no mês de agosto (8,11%) (Gráfico 12).

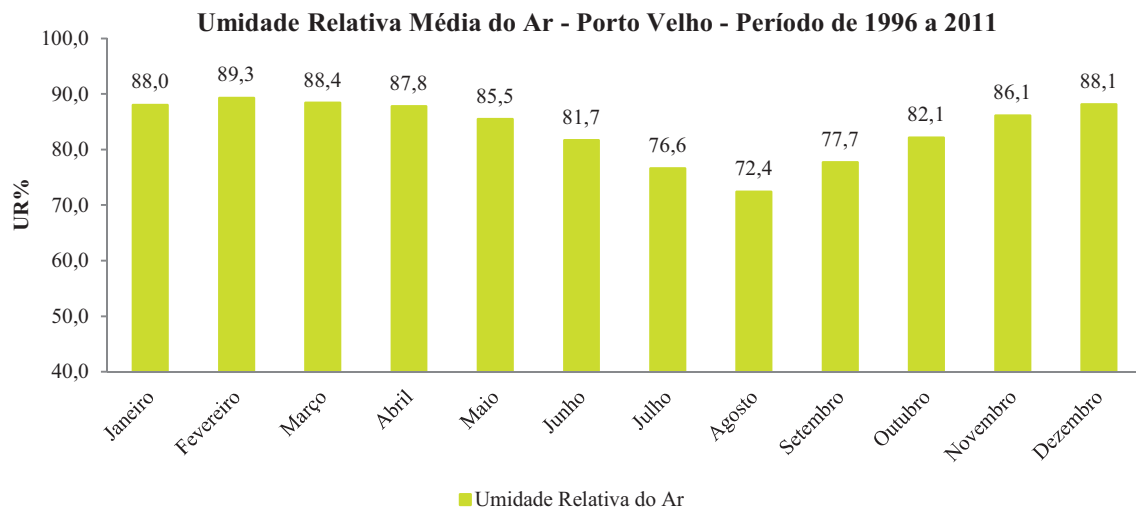


GRÁFICO 12. Umidade relativa média do ar – Porto Velho – Período de 1996 a 2011

Fonte: *History Weather Underground*

Ao comparar esses dados com a Normal Climatológica (Gráfico 13), observou-se que os dados da presente pesquisa apresentaram valores em até 7% inferiores, principalmente para os meses de junho a outubro. Esse resultado foi semelhante aos estudos realizado por Zuffo; Franca (2010) em Porto Velho/RO, os quais apresentaram que a umidade relativa do ar foi inferior em relação à Normal Climatológica, em torno de 6% a 8% nos meses de agosto a outubro.

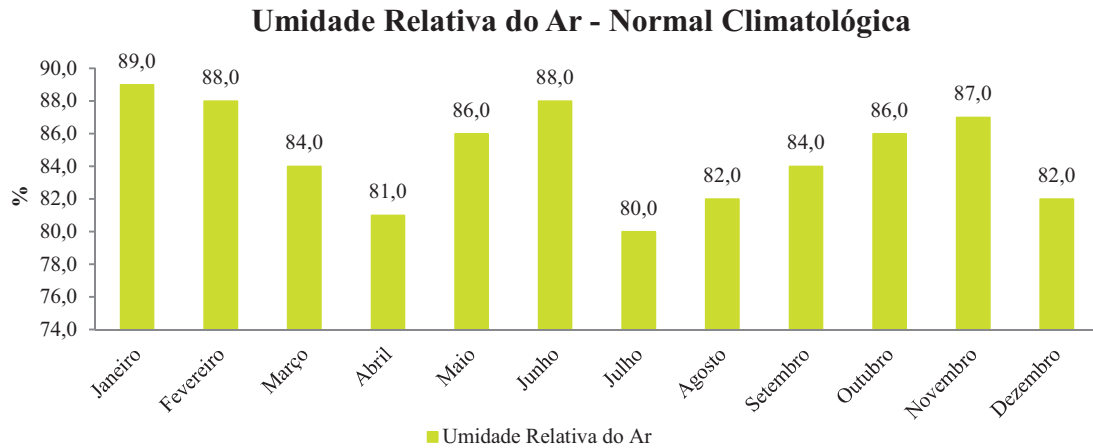


GRÁFICO 13. Umidade relativa do ar – normais climatológicas - Porto Velho – Período de 1975 a 1990
 Fonte: BRASIL, 1992

Em relação à variabilidade interanual, o menor valor encontrado foi no ano de 1997 (78,2%) e o maior no ano de 2002 (89,1%). No período entre 2000 a 2004, ocorreu um gradativo aumento para a umidade relativa média do ar seguido de uma redução. Os desvios positivos referem-se em anos de 2001 de *La Niña*, 2002 e 2004 do período de *El Niño* com índices superiores a 87%. Quanto aos desvios negativos, ocorreram em anos de 1997, 2005 (*El Niño*) e 2007 (*El Niño e La Niña*), inferiores a 84%.

O teste de regressão denotou uma ligeira diminuição em até 3% no período de 1996 a 2011 (Gráfico 14).

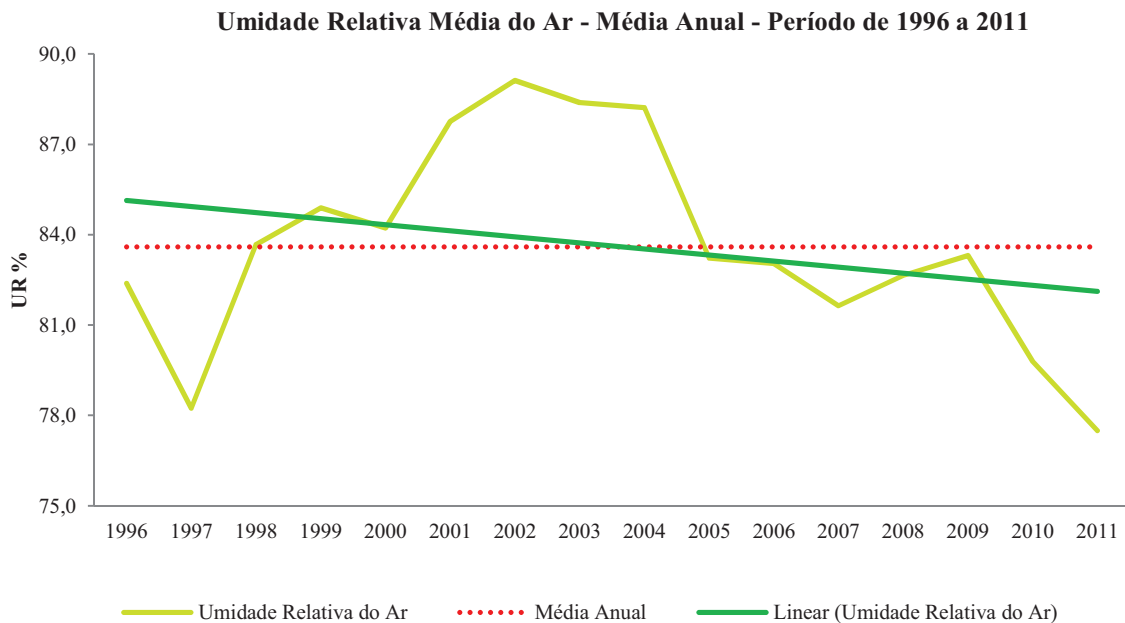


GRÁFICO 14. Umidade relativa média do ar – média anual - Porto Velho – Período de 1996 a 2011
 Fonte: *History Weather Underground*

5.1.6. Precipitação pluvial

O parâmetro climatológico de precipitação pluvial analisado refere-se ao período de 1999 a 2010. A média climatológica do somatório de chuva anual foi de 2.160,8 mm. No mês de julho, encontrou-se o menor valor de precipitação pluvial, com 22,9 mm, e no mês de dezembro o maior valor, com 340,5 mm. O maior desvio-padrão foi no mês de dezembro com 103 mm (Gráfico 15).

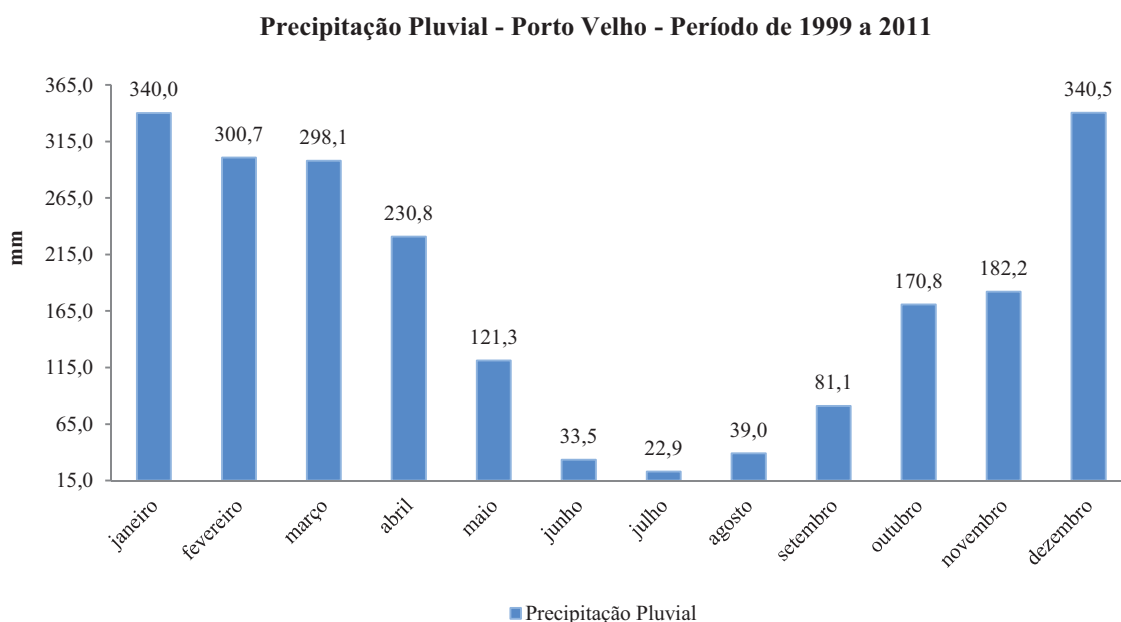


GRÁFICO 15. Precipitação pluvial – Porto Velho – Período de 1999 a 2011
Fonte: OGIMET

A variabilidade interanual de precipitação pluvial mostrou que, no ano de 2010, ocorreu o menor valor do período (1591,9 mm). O maior valor foi observado no ano de 2001 (2670,1 mm). A anomalia positiva de 2001 é referente à ocorrência de La Niña, e os anos de 2006 e 2009 (período de El Niño), com índice superior a 2550 mm. Já os desvios negativos foram em anos de 2003 (El Niño), 2005 (El Niño), 2007 (El Niño e La Niña), 2010 (El Niño), índices inferiores a 2100 mm. O teste de regressão linear indicou uma tendência de ligeira diminuição para esse parâmetro em até 500 mm, no período de 1999 a 2011 (Gráfico 16).

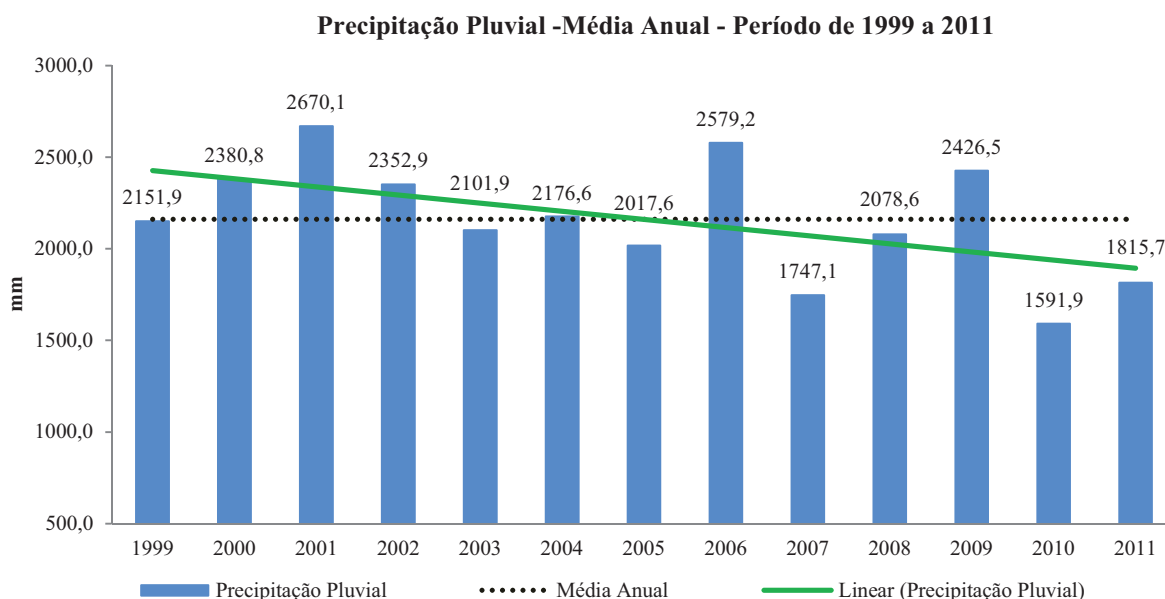


GRÁFICO 16. Precipitação pluvial – média anual - Porto Velho – Período de 1999 a 2011
 Fonte: OGIMET

Ao comparar os dados da pesquisa com a Normal Climatológica, observou-se uma diferença negativa de até 20 mm, o que pode estar relacionada ao processo oriundo do aquecimento da superfície em relação à retirada da cobertura vegetal. Esses dados vão ao encontro do estudo realizado por Marengo & Valverde (2007), os quais indicaram que houve uma variação na chuva da Amazônia do Sul, após a década de 1990. No entanto, o presente estudo não está em conformidade com a análise realizada por Silva et. al. (2010), do período de 1961 a 2008, que identificou tendências de aumento de chuvas em algumas áreas, nos últimos 48 anos da Amazônia, e diminuição na faixa leste da região Sul no acumulado de precipitação mensal do Brasil.

Esses resultados são semelhantes ao estudo realizado na bacia hidrográfica de Pimenta Bueno em Rondônia, período pós 1986, em que os dados de precipitação apresentaram uma tendência de aumento após a modificação do uso da terra e, que segundo a literatura consultada, esperava-se uma redução (CHECCHIA et al., 2007).

Ao comparar os dados de precipitação pluvial com a Normal Climatológica revela uma variação em quase 20 mm, no decorrer dos meses em ambos os dados (Gráfico 17). Essa diferença nos valores é devido à distribuição espacial da precipitação, processo esse oriundo do aquecimento da superfície e, geralmente, de tipos de chuvas convectivas.

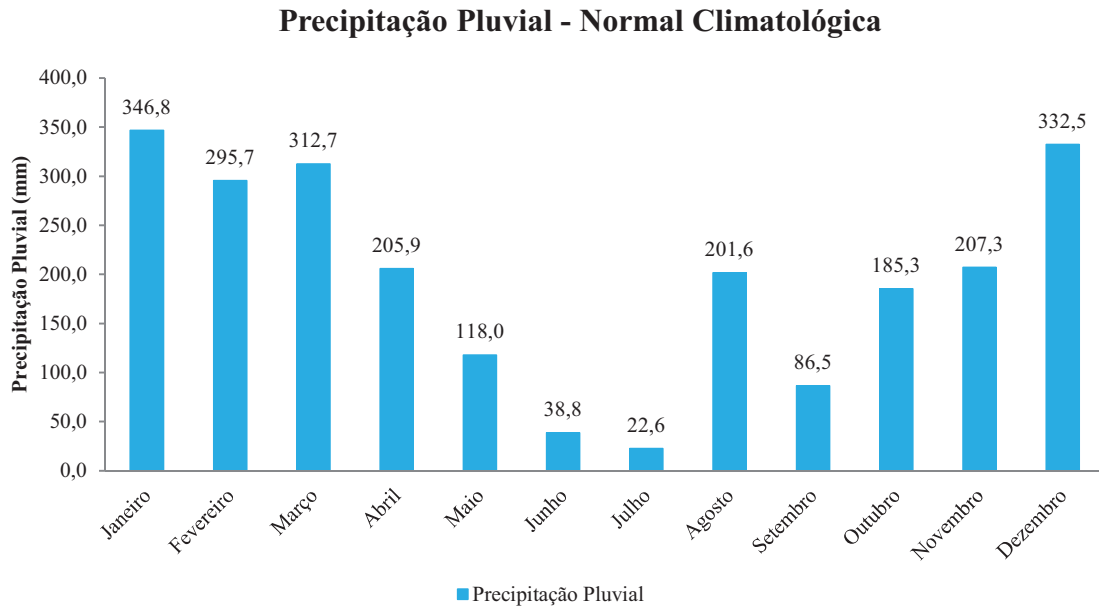


GRÁFICO 17. Precipitação pluvial – normais climatológicas - Porto Velho – Período de 1975 a 1990
 Fonte: BRASIL, 1992

5.2. REGIÃO DA TRANSFORMAÇÃO: ANÁLISE DA DENSIDADE DE VEGETAÇÃO E REGIÃO DA PRODUÇÃO: ANÁLISE DA ESTRUTURA TÉRMICA ESPACIAL URBANA

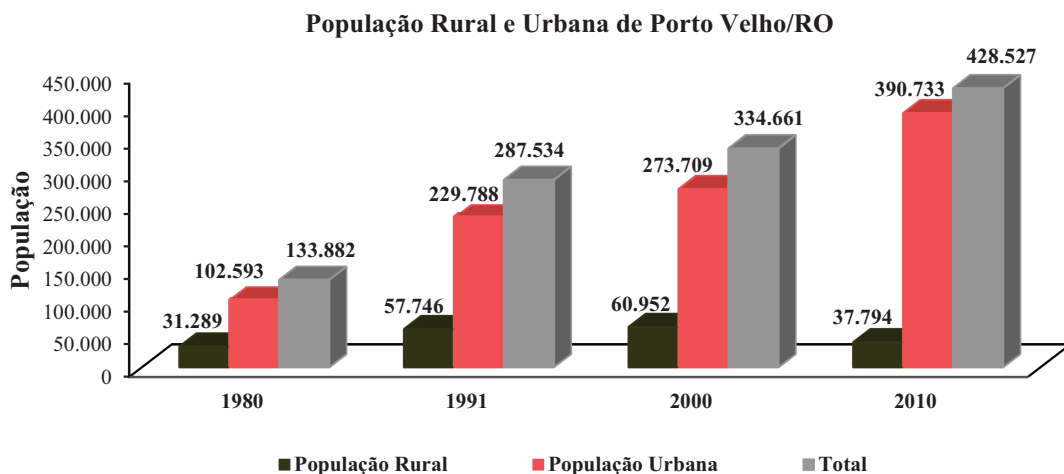
Nesta seção foram analisadas em escala multi-temporal, a densidade da vegetação (região de transformação) e suas alterações sobre a superfície terrestre, e também as análises da estrutura térmica espacial urbana (região de produção), no desenvolvimento da ilha de calor, a fim de estabelecer uma relação entre as características das diferentes superfícies de uso e ocupação mais as condições de conforto térmico humano.

A região da transformação é o resultado do mapeamento das áreas com alta e baixa concentração de vegetação. Os mapas temáticos foram gerados a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que aumenta o contraste espectral entre a vegetação e o solo, das imagens do satélite Landsat-5 (TM) das bandas 3 e 4, nos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011. A partir da aplicação do índice de vegetação obtiveram-se os seguintes resultados de NDVI, conforme a Tabela 08:

TABELA 08. Evolução das classes de NDVI, referente para cada imagem do Landsat-5(TM)

Classes de NDVI	1985		1995		2006		2011	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Área total: 11.734 ha								
<i>Vegetação Inexistente</i>	493	4%	488	4%	1.172	10%	1.728	15%
<i>Baixa densidade de vegetação</i>	6.125	52%	7.171	61%	8.247	70%	7.969	68%
<i>Média densidade de vegetação</i>	4.732	40%	4.024	34%	2.150	18%	1.923	26%
<i>Floresta Ombrófila Aberta</i>	383	3%	51	0%	165	1%	113	1%

Por meio do cálculo de área de cada classe, pôde-se verificar, conforme a Tabela 08, que a classe de baixa densidade de vegetação foi que apresentou os maiores índices em todos os anos analisados, seguida da classe de vegetação inexistente, que representa pouca cobertura vegetal e maior densidade de construção, isso se deve ao surgimento da cidade a partir da construção da estação inicial da EFMM seguidos por ciclos econômicos que contribuíram para uma dinâmica espacial desordenada como a construção e instalação de duas hidroelétricas no rio Madeira (Santo Antônio e Jirau). O gráfico 18 retrata a dinâmica espacial da população urbana e rural concomitante as classes temáticas de NDVI (Tabela 08).

**GRÁFICO 18.** Dados de população urbana e rural de Porto Velho – Período de 1980 a 2010

Fonte: IBGE/SIDRA

Lima e Amorim (2011) explicam que a distribuição espacial da cobertura vegetal arbórea interfere na formação do clima urbano, tendo importância para o conforto térmico e a qualidade ambiental.

A região de produção apresenta o comportamento térmico gerado a partir de equações de conversão dos valores de níveis de cinza em temperatura do canal termal da imagem do

satélite Landsat-5 TM. A “região” em questão tem por finalidade a identificação de ilhas de calor e frescor no perímetro urbano de Porto Velho/RO, no período de 1985, 1995, 2006 e 2011, relacionando com a evolução das classes temáticas de NDVI.

A tabela 09 apresenta os valores térmicos em relação à estação meteorológica do aeroporto e o pixel da imagem onde se localiza essa estação:

TABELA 09. Comparativo das condições meteorológicas no dia de passagem de cada satélite

Datas de aquisição dos dados	Temperatura Máxima do Ar °C (média)		Temperatura Mínima do Ar °C (média)	
	Estação Meteorológica	Valor do pixel na imagem	Estação Meteorológica	Valor do pixel na imagem
29/07/1985	32,9	26,4	21,5	26,4
25/07/1995	32,9	24,9	20,9	24,9
23/07/2006	33,2	36,7	20,4	36,7
06/08/2011	36,8	35,5	22,5	35,5

Fonte: OGIMET / LANDSAT-5(TM)

5.2.1. Análise da imagem de satélite, de 29 de Julho de 1985

Os resultados obtidos da imagem de 1985, nas categorias de NDVI, revelaram um total de 11.734 (ha) da área de estudo, o que corresponde 493 (ha) para vegetação inexistente, 6.125 (ha) para baixa densidade de vegetação, 4.732 (ha) para média densidade de vegetação e 383 (ha) para floresta ombrófila aberta.

De acordo com os resultados obtidos, notou-se, em geral, um avanço da classe de baixa densidade de vegetação sendo mais expressiva nos setores: norte, centro e sul do perímetro urbano, identificadas pelo tom de cinza claro. E no seu entorno encontra-se a categoria de média densidade de vegetação com pequenas manifestações de floresta ombrófila aberta principalmente nos bairros Triângulo, Área Militar (5°BEC) e Jardim Santana. A classe de vegetação inexistente ainda é pouco expressiva manifestando-se em alguns conglomerados nas porções norte, centro, sul e leste, identificada pela cor vermelha.

Neste momento a cidade de Porto Velho passa por um período de transformações que não se manifestam mais na forma de estruturação da cidade como centro de atração de outras cidades, mas, as transformações ocorrem, sobretudo, na expansão do perímetro urbano da cidade, em virtude do início da exploração de ouro no rio Madeira que vai impor um novo ritmo à cidade (NASCIMENTO, 2009). A cidade de Porto Velho possuía uma área central estruturada comercialmente, economicamente e nas questões relacionadas à infra-estrutura, no

entanto a sua expansão rumo às áreas mais afastadas do núcleo central começa a se intensificar a partir da década de 1980.

Em relação à distribuição térmica, os dados de temperatura de superfície revelaram uma variação na ordem de 20°C a 35°C. A maior intensidade de temperatura (25°C a 30°C) foi no setor central da área de estudo. O mesmo intervalo de temperatura também aparece nas porções sul e leste do perímetro urbano, mas com menos intensidade. A faixa térmica de 30°C a 35°C aparece de forma suave no bairro Nova Esperança e alguns resquícios na zona central. Enquanto que na área de entorno da zona urbana observou-se uma temperatura de superfície mais amena na faixa de 20-25°C.

Neste sentido, pode-se inferir que no ano de 1985, a existência de uma ilha de calor concentrava-se na parte central do perímetro urbano e com algumas manchas na parte leste e sul, em virtude da baixa densidade de vegetação. Enquanto que as ilhas de frescor compreendem a área de entorno do perímetro urbano identificadas pela média densidade de vegetação.

O estudo realizado em Ilha Solteira/SP por Costa et al. (2010) com semelhança metodologia do presente trabalho, que consistiu no uso do módulo LEGAL do SPRING e imagens do satélite Landsat-5 (TM) destacaram que as ilhas de calor se concentram em lugares com menor índice de vegetação e maior densidade de construções, encontrando valores de temperatura de 41°C a 44°C.

Ressalta-se ainda, os materiais utilizados na urbe como concreto, telhados e asfalto, que possuem valor baixo de albedo, assim as regiões urbanizadas refletem menos e absorvem mais radiação solar, ocasionando um aumento da temperatura de superfície (COSTA et al. 2010).

Nas figuras 08 e 09, são mostradas as classes de NDVI e a distribuição térmica da área urbana de Porto Velho/RO, respectivamente, para o ano de 1985.

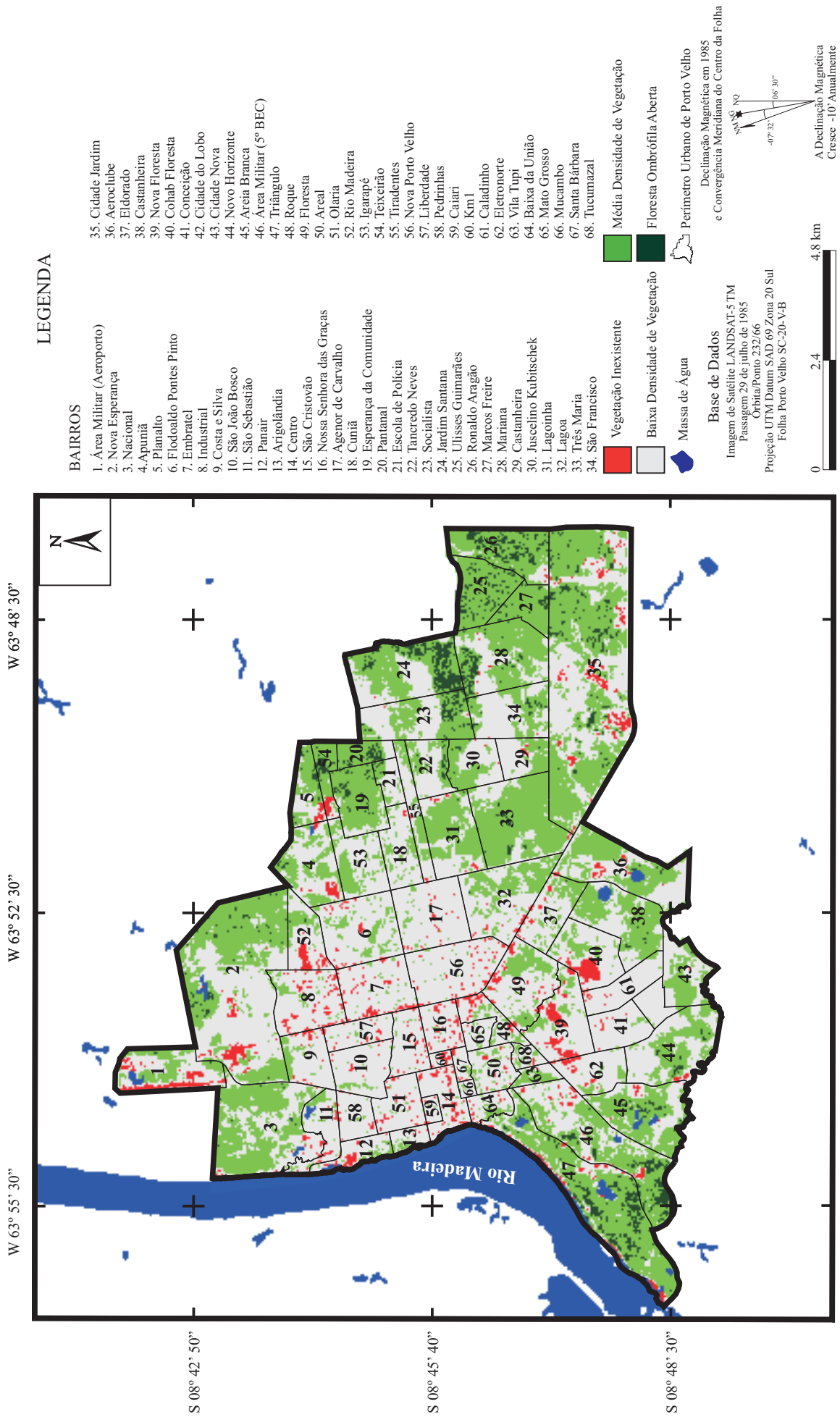


Figura 08. Carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 1985.

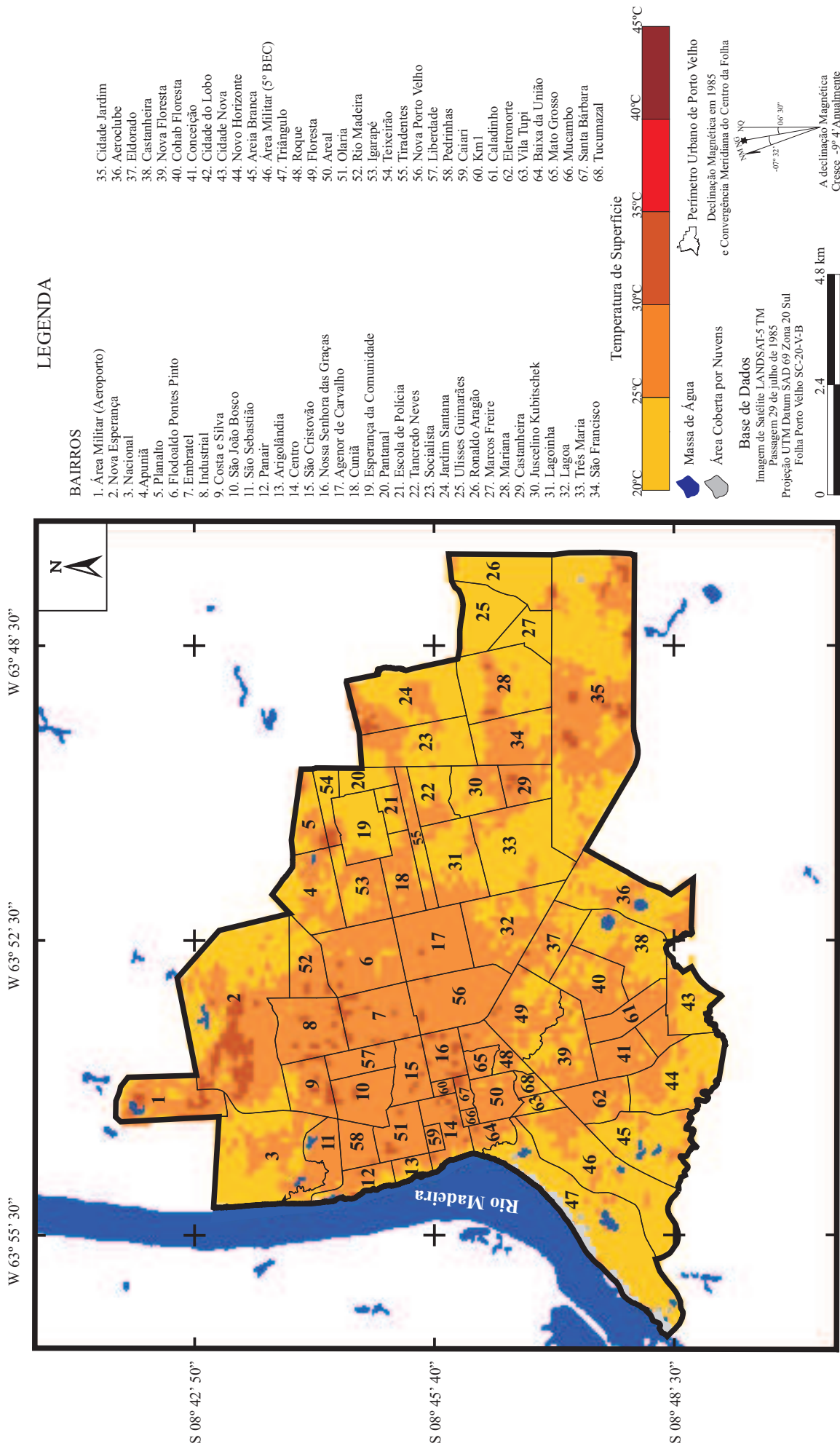


Figura 09. Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 1985.

5.2.2. Análise da imagem de satélite, de 25 de Julho de 1995

Os resultados analisados das classes temáticas de NDVI do ano de 1995 demonstraram que 488 (ha) pertencem a classe temática de vegetação inexistente, 7.171 (ha) a baixa densidade de vegetação, 4.024 (ha) para classe de média densidade de vegetação e 51 (ha) correspondem para floresta ombrófila aberta.

A análise da imagem revelou uma expansão urbana no sentido leste com intensificação na zona sul. De acordo com Nascimento (2009) “a grande disponibilidade de terras devolutas urbanas longe do centro da cidade pertencentes na sua grande maioria a União, facilitou as invasões, assim as famílias deslocavam-se para as áreas desocupadas, limpando os terrenos, demarcando-os, construindo os seus pequenos barracos e de fato tomavam a posse da terra”.

A classe temática de média densidade de vegetação foi mantida em relação a classe de baixa densidade de vegetação, localizadas nas porções norte, centro e sul. Na década de 1990, Porto Velho e o estado de Rondônia vivenciaram a implantação de uma política de ordenamento ambiental denominado de Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia (PLANAFLORO) com base no Zoneamento Sócio Econômico Ecológico (ZSEE), a fim de assegurar e controlar os recursos naturais, uma espécie de organização da sociedade civil (NASCIMENTO, 2009; SILVA, M. et al. 2010).

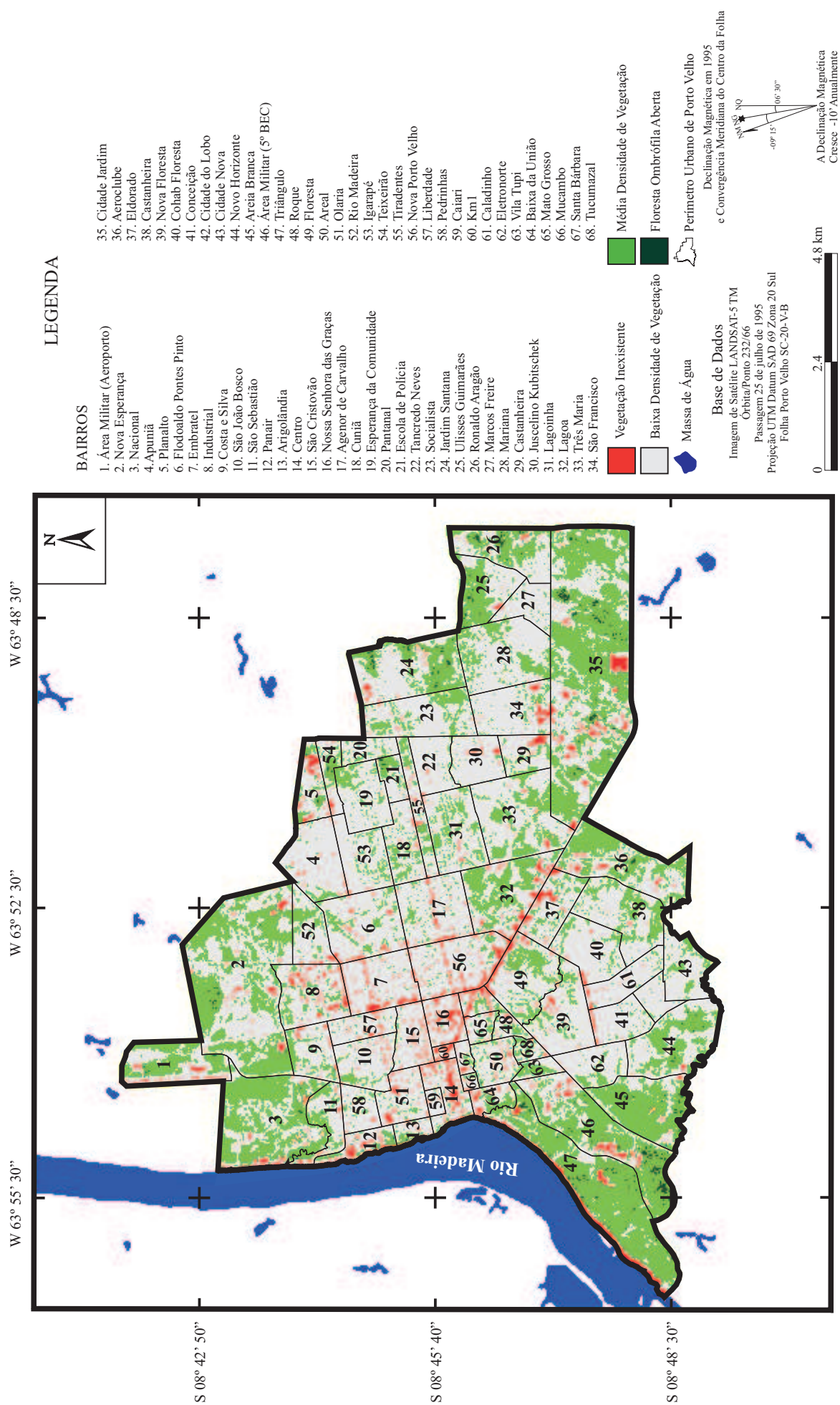
Em relação aos dados obtidos de temperatura de superfície foram na ordem de 20°C a 40°C. Para esse ano, o comportamento térmico revelou um espreadimento da temperatura de superfície acompanhado pela expansão da urbanização, como foi apresentado no resultado de NDVI. Resultado que se assemelha ao estudo de Rufino et al. (2009) utilizando o processamento digital de imagens da banda termal, na cidade de Patos/PB, onde observou um aumento discreto na mancha urbana ao longo dos anos, por meio das cartas imagem de NDVI revelando uma diminuição das áreas verdes ao longo do processo de ocupação e na carta térmica apresentou um incremento da temperatura de superfície na área urbana.

Outro ponto a destacar é a variação térmica mais amena encontrada na ordem de 20°C a 25°C, localizada na área de entorno do perímetro urbano, embora reduzida em relação ao ano de 1985.

Nessa mesma imagem de satélite, encontram-se pequenos resquícios de temperatura de superfície na faixa de 30°C a 35°C localizados na zona central e na Av. Gov. Jorge Teixeira. Resultado esse destoante do estudo de clima urbano da cidade de São Carlos/SP, realizado por Barbosa & Vecchia (2009), em que na área de comércio, serviços e residencial apresentou maior incidência de temperatura de superfície na faixa de 45°C a 48°C.

Neste sentido depreende-se que o ano de 1995, em relação ao ano de 1985 que tinha se caracterizado uma ilha de calor na parte central, apresentou um espraçamento desse fenômeno térmico na porção leste e sul, acompanhado pela classe temática de baixa densidade de vegetação. E quanto à presença da ilha de frescor observa-se ainda na área de entorno do perímetro urbano, embora de forma reduzida, devido o aumento da baixa densidade de vegetação. A formação da ilha de frescor em áreas de adjacências se deve a presença da floresta. O ideal é que as ilhas de frescor sejam encontradas dentro perímetro urbano trazendo conforto térmico ao cidadão.

Nas próximas páginas são apresentadas as Figuras (10 e 11), referente às classes de NDVI e a distribuição térmica da área urbana de Porto Velho/RO, respectivamente, para o ano de 1995.



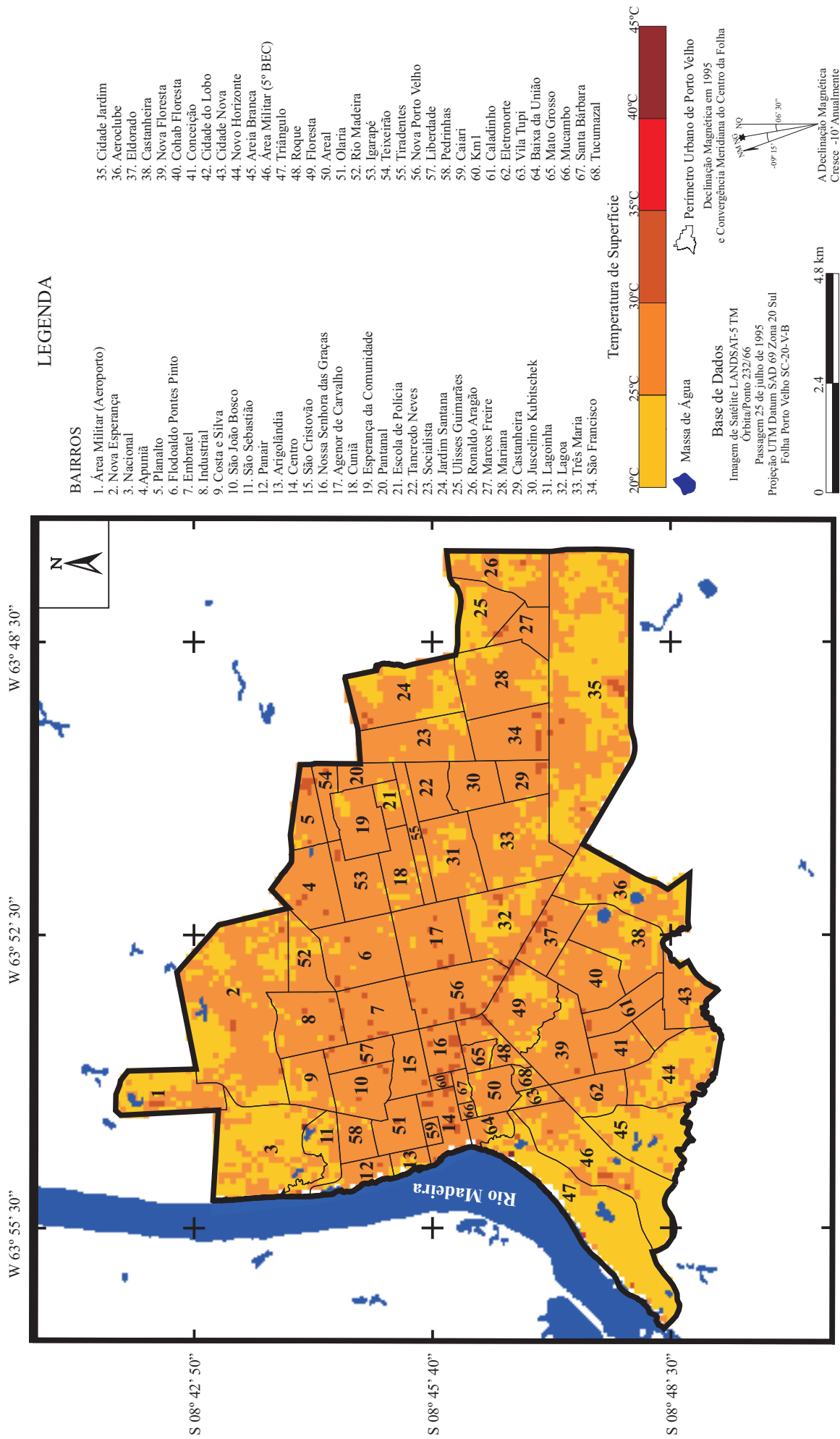


Figura 11. Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 1995.

5.2.3. Análise da imagem de satélite, de 23 de Julho de 2006

As classes temáticas de NDVI analisadas no período de 2006 demonstraram que 1.172 (ha) pertenciam a vegetação inexistente, 8.247 (ha) refere-se a classe de baixa densidade de vegetação, 2.150 (ha) para média densidade de vegetação e 165 (ha) de floresta ombrófila aberta.

A partir do processamento digital de imagem e a aplicação do índice de vegetação, foi possível detectar um avanço da vegetação inexistente ou desmatamento na porção central do perímetro urbano e ao longo da BR-364 (sentido Cuiabá) identificados pela cor vermelha, além disso, uma intensificação da baixa densidade de vegetação (tom cinza claro) consequentemente a diminuição da média densidade de vegetação (representado pela cor verde).

De acordo com o IBGE (2000) a população da cidade de Porto Velho contava com 262.157 pessoas. Neste sentido, pode-se afirmar um predomínio da população na área urbana o que denota mais uma vez o caráter urbano da cidade, podendo se comprovada pela carta de índice de vegetação (imagem de satélite do ano de 2006).

A temperatura da superfície encontrada em 2006 foi de 20°C a 40°C, com uma predominância no intervalo de 30°C a 35°C, localizadas na porção central, leste e sul da zona urbana. O comportamento térmico do ano de 2006 foi de 5 a 10°C superior aos anos de 1985 e 1995 para essas mesmas áreas. O bairro Triângulo apresentou uma recorrência da temperatura de superfície amena nos períodos de 1985, 1995 e agora em 2006. Pode-se inferir que a “brisa fluvial” esteja refrigerando este sítio, minimizando os efeitos e as dimensões de uma ilha de calor. Essa característica também corresponde ao estudo do clima urbano em Manaus/AM por Anjos, et al. (2002) que junto à orla do rio Negro, a brisa fluvial foi contribuinte para os efeitos amenizadores das ilhas de calor.

As faixas térmicas na ordem de 20°C a 25°C e de 25°C a 30°C foram encontradas na área de entorno do perímetro urbano. Outra variação térmica a ser destacada foi de 35°C a 38°C nas porções norte, central, leste e sul, no entanto, alguns bairros apresentaram maior incidência dessa temperatura de superfície como Lagoa, Cidade Jardim, Tiradentes e Cascalheira. Os pixels que apresentaram temperatura de superfície na ordem de 38°C a 40°C estão localizados nos bairros São Cristovão, Agenor de Carvalho, Nova Esperança e Cidade Jardim.

A variação de temperatura observadas nos bairros se deve em função da diversidade da paisagem. Por exemplo, o bairro Agenor de Carvalho, que entre 1995 e 2006, apresentou uma amplitude de 10°C, característica essa que pode ser comparada ao estudo de ilhas de

calor em Belém/PA, por Castro (2010) no bairro Marambaia (entre 1997 e 2008) apresentou uma amplitude de 7°C, essa pesquisa utiliza imagens Landsat na banda termal.

Assim, os resultados demonstraram que a ilha de calor se intensificou na parte central, leste e com manchas na parte sul, em relação ao ano de 1995. Ressalta-se a presença dos campos térmicos de maior variação, devido aos diferentes albedos dos materiais urbanos.

Já a presença da ilha de frescor houve predominância na parte norte, central (nos bairros Triângulo e Área Militar-5°BEC) e ao sul (no bairro Areia Branca). Essas características habitualmente acontecem pelo fato que o fenômeno da ilha de calor urbana é caracterizada pelo aumento da temperatura do ar nas cidades em relação ao meio rural e as áreas menos urbanizadas, pois no centro das cidades, as construções formam um conjunto denso e compacto (AMORIM, 2005).

Nas próximas páginas são apresentadas as Figuras (12 e 13), referente às classes de NDVI e a distribuição térmica da área urbana de Porto Velho/RO, respectivamente, para o ano de 2006.

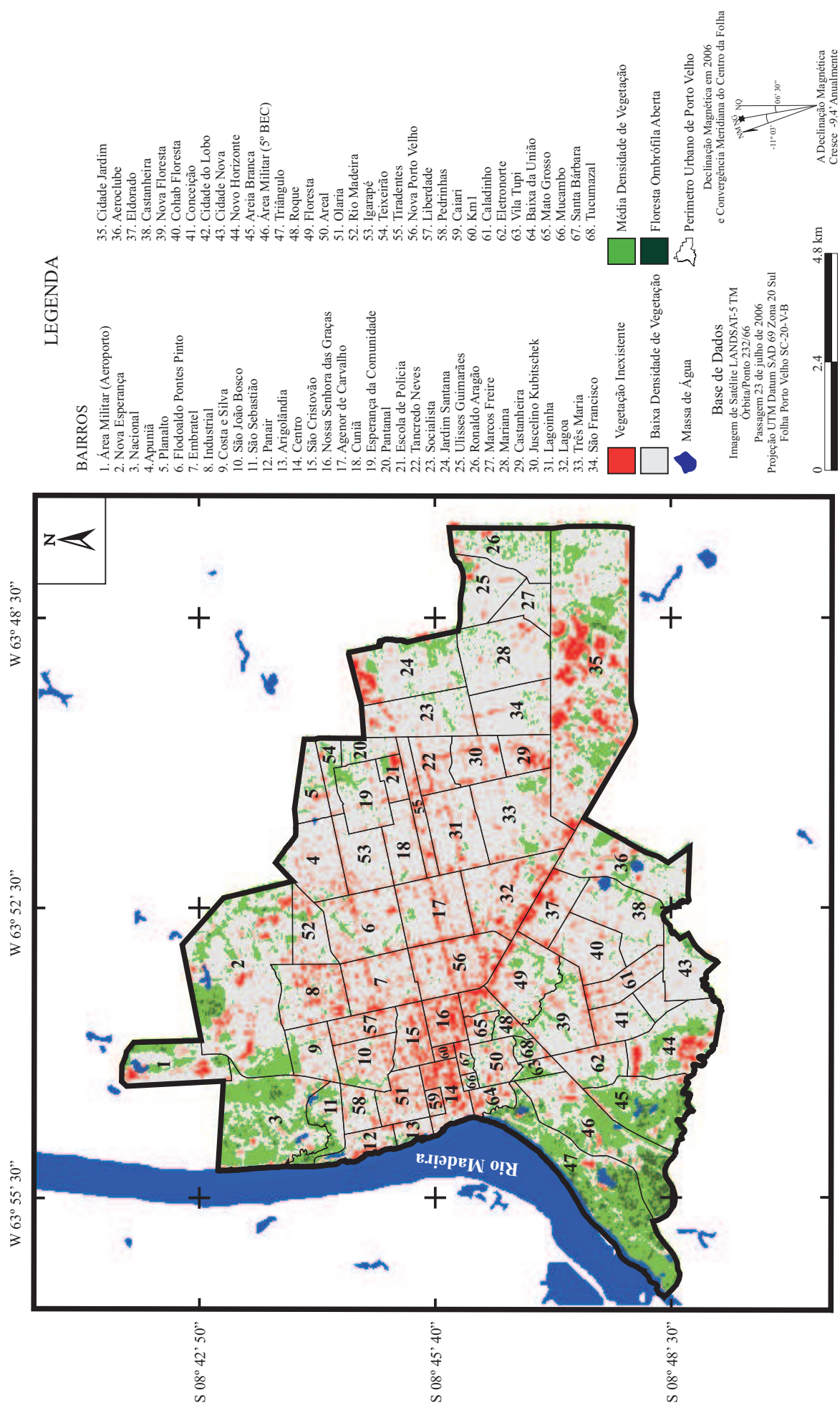


Figura 12. Carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 2006.

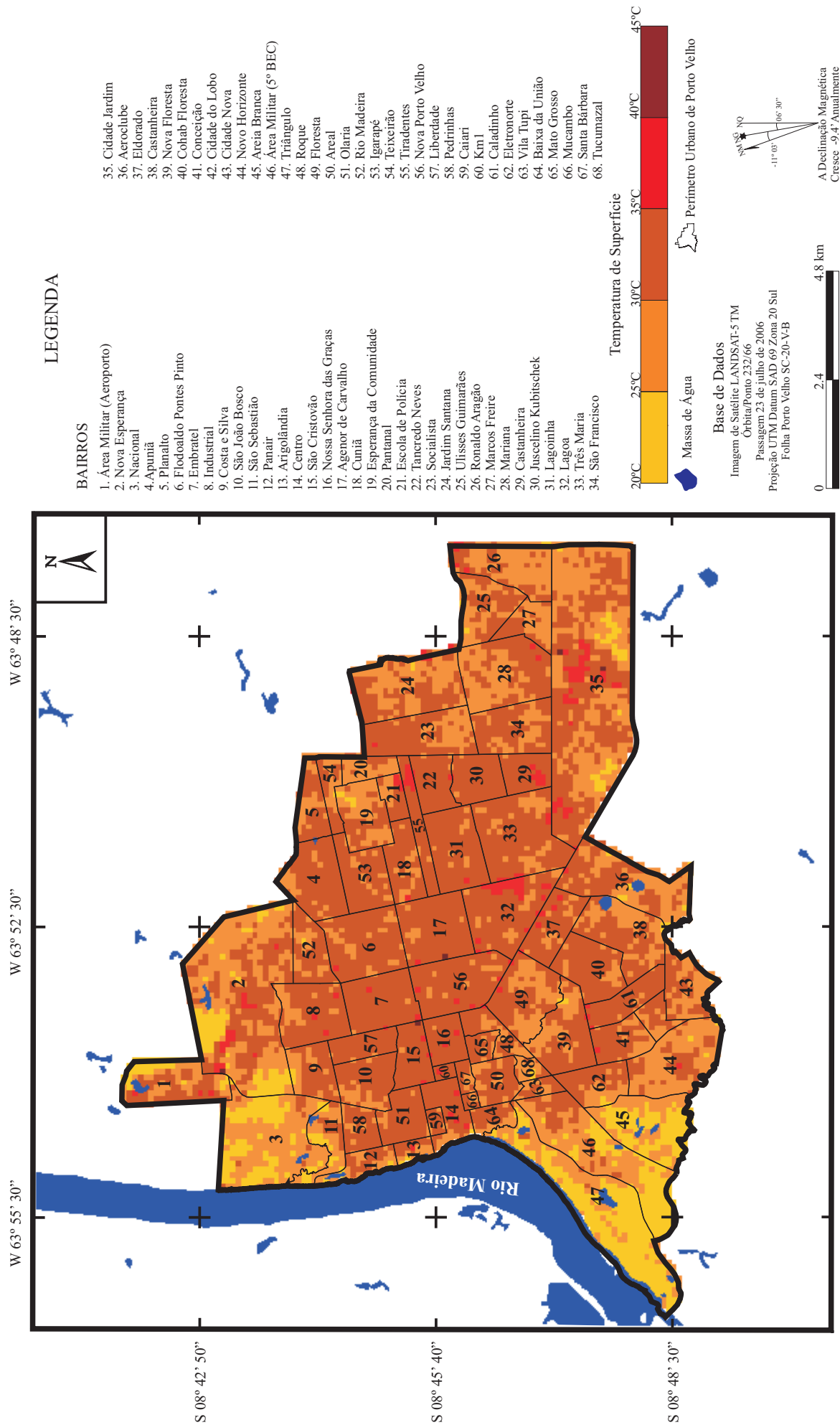


Figura 13. Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 2006.

5.2.4. Análise da imagem de satélite, de 06 de Agosto de 2011

Os resultados de índices de vegetação apresentaram 1.728 (ha) para classe temática de vegetação inexistente, 7.969 (ha) na classe de baixa densidade de vegetação, 1.923 (ha) para média densidade de vegetação e 113 (ha) refere-se a classe temática de floresta ombrófila aberta. Conforme se pode observar na imagem de satélite a classe temática de vegetação inexistente se intensificou no setor central, leste e sul, identificados pela cor vermelha, logo, também houve uma ligeira diminuição da baixa densidade de vegetação na área de entorno do perímetro urbano. Ao comparar o período entre 1985 e 2011, houve um incremento em até 11% da classe temática de vegetação inexistente, e 16% para a baixa densidade de vegetação.

Os agravantes revelados pela imagem de satélite de NDVI se devem entre outros fatores, a construção das hidrelétricas do rio Madeira (Santo Antônio e Jirau), neste sentido, Cavalcante et al. (2008) explica que a construção é uma das prioridades do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal, o que adiciona novas tramas sociais e econômicas ao território, e acrescenta que a implantação de infra-estruturas de transporte e energia elétrica na Amazônia brasileira tem sido marcada por grandes impactos ao ambiente, e atribuem novas funções e formas de organização no território.

As dimensões negativas a partir dessas obras e de outras por meio dos ciclos econômicos deixarão mais marcas na cidade, como já pode se observar a intensificação da baixa densidade de vegetação com o aumento da vegetação inexistente (classe temática apresentada pela cor vermelha) em comparação aos períodos anteriores.

A construção do complexo hidroelétrico propiciou a oferta de emprego o que demandou a entrada de quase 20.000 trabalhadores. Com isso, a cidade necessitou abrigar essa mão-de-obra, que acarretou na expansão da especulação imobiliária, além do vertiginoso aumento da construção de condomínios residenciais (tanto horizontais, quanto verticais) espalhados por toda a urbe, que pode provocar modificações nas condições microclimáticas dos recintos urbanos, principalmente no bloqueio ou não da circulação dos ventos.

A reportagem publicada no jornal Estado de São Paulo em 11 de julho de 2010, “o setor imobiliário cresceu em 33%, mais de 100 empreendimentos em construção no município, entre prédios residenciais e condomínios, o preço dos imóveis também subiu”, e outro problema mostrado na reportagem foi o aumento de veículos com a mínima infraestrutura de trânsito. Segundo dados do DETRAN-RO o número de veículos em 2010 era de 160.876, crescimento superior a 100% em relação ao ano de 2003 que contava com uma frota veicular de 61.714. Os automóveis funcionam como uma grande fonte de produção de calor, pois a concentração de gases e materiais particulados lançados na atmosfera favorece um

efeito estufa localizada e colabora para aumentar a retenção de calor (TEZA & BAPTISTA, 2005).

Esses efeitos no sítio urbano irão contribuir para o aumento da ilha de calor, uma vez que a distribuição térmica apresentou uma predominância da temperatura de superfície de 30°C a 35°C, localizadas nas porções norte, central, leste e sul, quase a área total do perímetro urbano.

A presença da faixa térmica de 20°C a 25°C compreendem os bairros Triângulo, Nacional, Área Militar (5°BEC) e Areia Branca, por conta da suave geomorfologia da região e a influência da brisa fluvial. Frota e Shiffer (1988) explicam que a topografia afeta a temperatura do ar, a nível local, pois a natural diferença de radiação solar recebida por vertentes de orientações distintas, um relevo acidentado pode se constituir em barreira aos ventos, modificando, muitas vezes, as condições de umidade e de temperatura do ar em relação à escala regional (Figura 14).

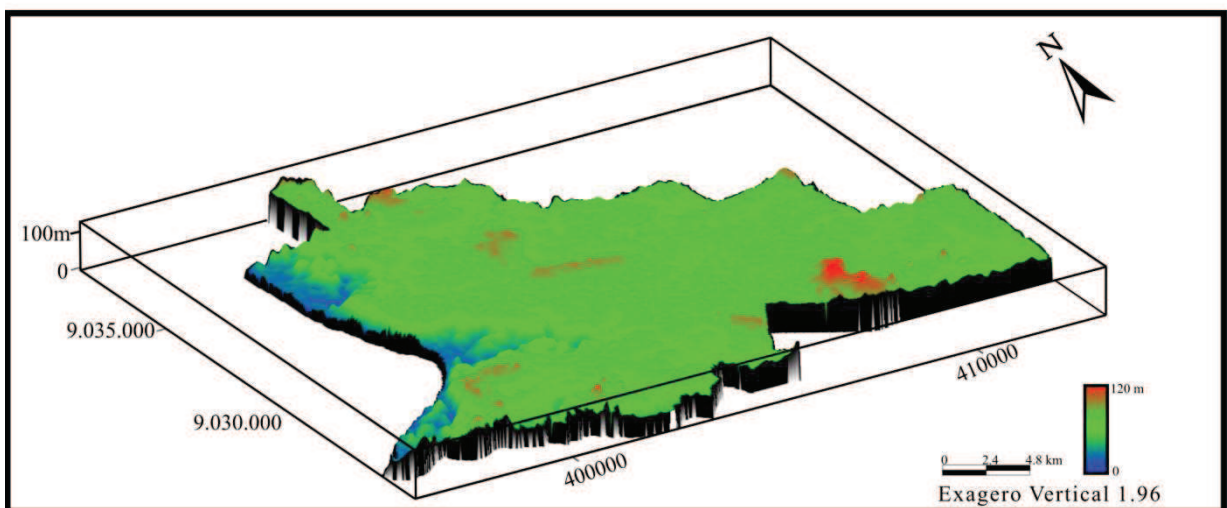


Figura 14. Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área urbana de Porto Velho, ano 2011

Fonte: Landsat-5 (TM) e SRTM

Outro destaque que se observa na imagem do satélite são os resquícios de temperatura de superfície entre 35°C e 38°C, apresentando-se de maneira difusa na parte norte, central, leste e sul, podendo ser denominados de “arquipélagos de calor”. Observou-se também uma faixa térmica de 38°C a 50°C nos bairros Nova Esperança, KM-1, Centro, São Cristovão, Flodoaldo Pontes Pinto, Aeroclube, Cidade Jardim e Lagoa, reflexo da classe temática de vegetação inexistente.

O efeito de ilhas de calor sobre as cidades, segundo Lombardo (1985) ocorre devido à redução da evaporação, o aumento da rugosidade e às propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais pavimentados. Neste sentido, os materiais utilizados na construção, como o

asfalto e o concreto, servem de refletores para o calor produzido na cidade e para o calor solar, Teza & Baptista (2005). Outros materiais comuns na cidade de Porto Velho são as telhas de amianto que possuem alta reflectância promovendo o aumento significativo da irradiação de calor para a atmosfera (COLTRI, 2006). Ressalta ainda Serrato et al. (2002) a capacidade que a atmosfera tem para aprisionar o calor, é um fenômeno natural que é dominado pelo balanço de energia da Terra.

Por fim, a ilha de calor no ano de 2006 apresentou-se predominância na parte central, leste e com manchas ao sul, enquanto que, no ano de 2011 a ilha de calor aumentou na porção central e leste e se intensificou ao sul. Já a presença da ilha de frescor foi semelhante aos resultados do ano de 2006, com predomínio ao norte, centro (Triângulo, Área Militar-5°BEC) e ao sul (Areia Branca).

A diferença encontrada de temperatura de superfície no bairro Triângulo com o bairro Lagoa chega a ser de 10°C. Coltri (2006) explica que a região central é o lugar onde ocorrem as maiores transformações de energia, massa, poluição, derivadas da urbanização, provocando mudanças tanto nos balanços de radiação solar quanto nas trocas aerodinâmicas (ligadas ao vento), bem como alterando a composição do ar e liberando grandes quantidades de calor antropogênico.

A carta imagem de Ilhas de Frescor (Figura 17) apresenta os igarapés urbanos da cidade de Porto Velho. Essas ilhas podem ter sido formadas por conta da presença de corpos d'águas, enquanto que no interior da cidade os igarapés se alteram com a ocupação irregular próxima a essas áreas, pelo fato da supressão das áreas de preservação permanente (APP).

O efeito negativo dos igarapés dentro na cidade de Porto Velho/RO é apresentado no estudo do igarapé *Belmont* sendo descaracterizado, devido à terraplanagem e arruamentos da parte urbana da cidade, causando assoreamentos dos canais transformados em esgotos a céu aberto, fato causado pela precária coleta de lixo e falta de esgotamento sanitário na cidade, forçando o depósito desses dejetos nas calhas fluviais, modificando seu fluxo hidrológico provocando enchentes entre outros problemas urbanos, Santos & Ferreira (2010).

Nas figuras 15 e 16 são apresentadas as cartas de NDVI e do campo térmico de Porto Velho, RO do ano de 2011, respectivamente. E na figura 17 são mostradas as ilhas de frescor da área urbana de Porto Velho, RO do ano de 2011.

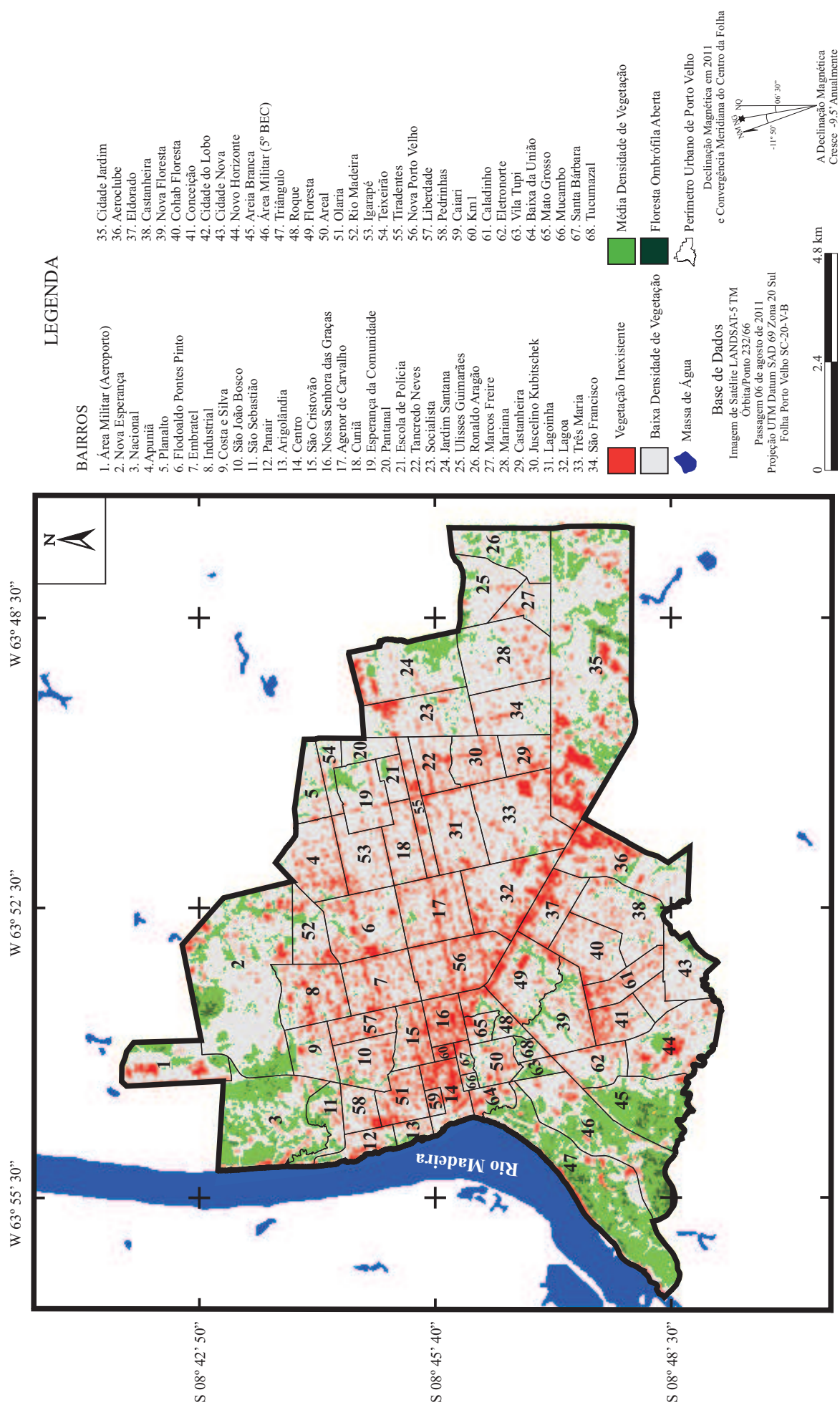


Figura 15. Carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da área urbana de Porto Velho do ano de 2011.

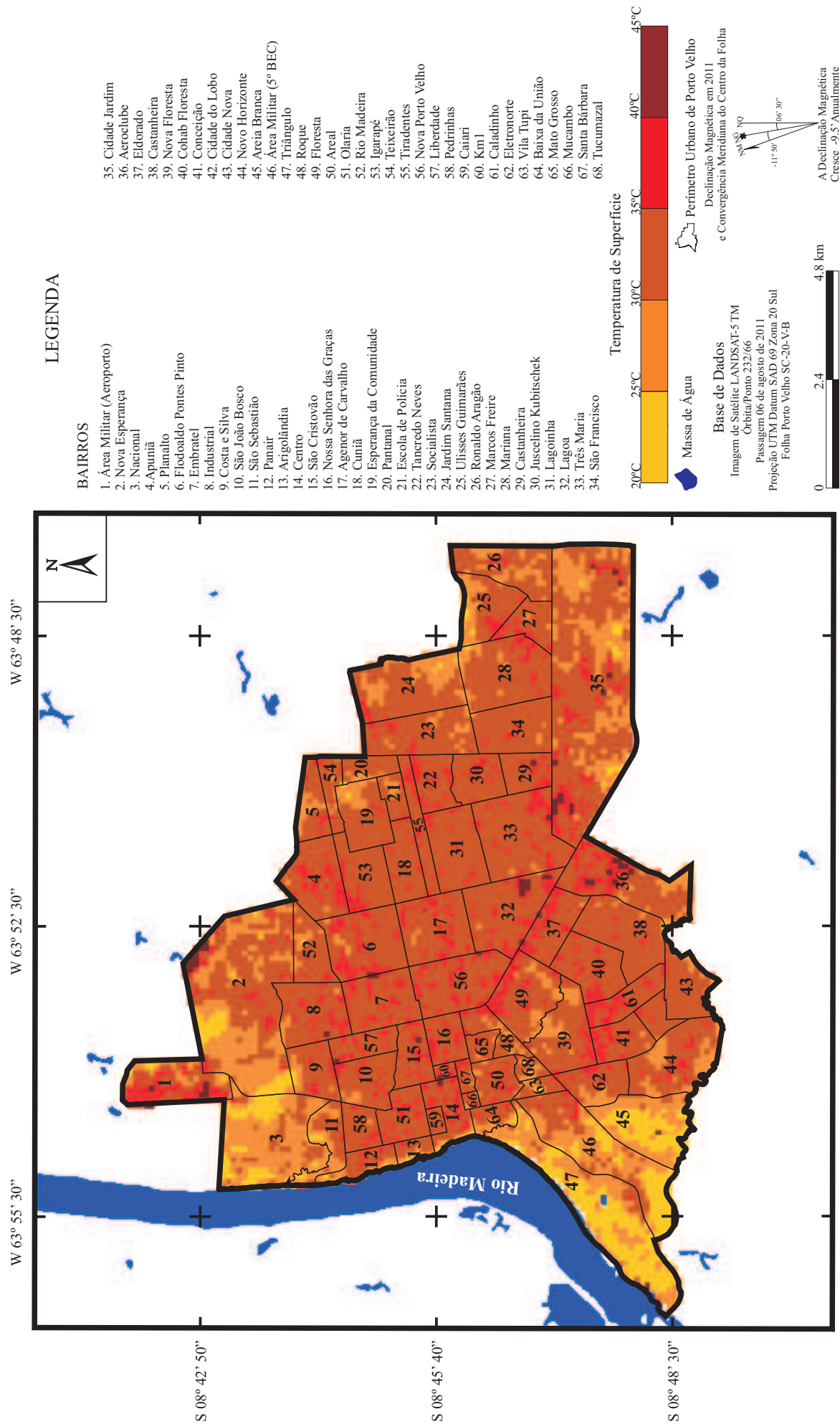


Figura 16. Carta do campo térmico da área urbana de Porto Velho do ano de 2011.

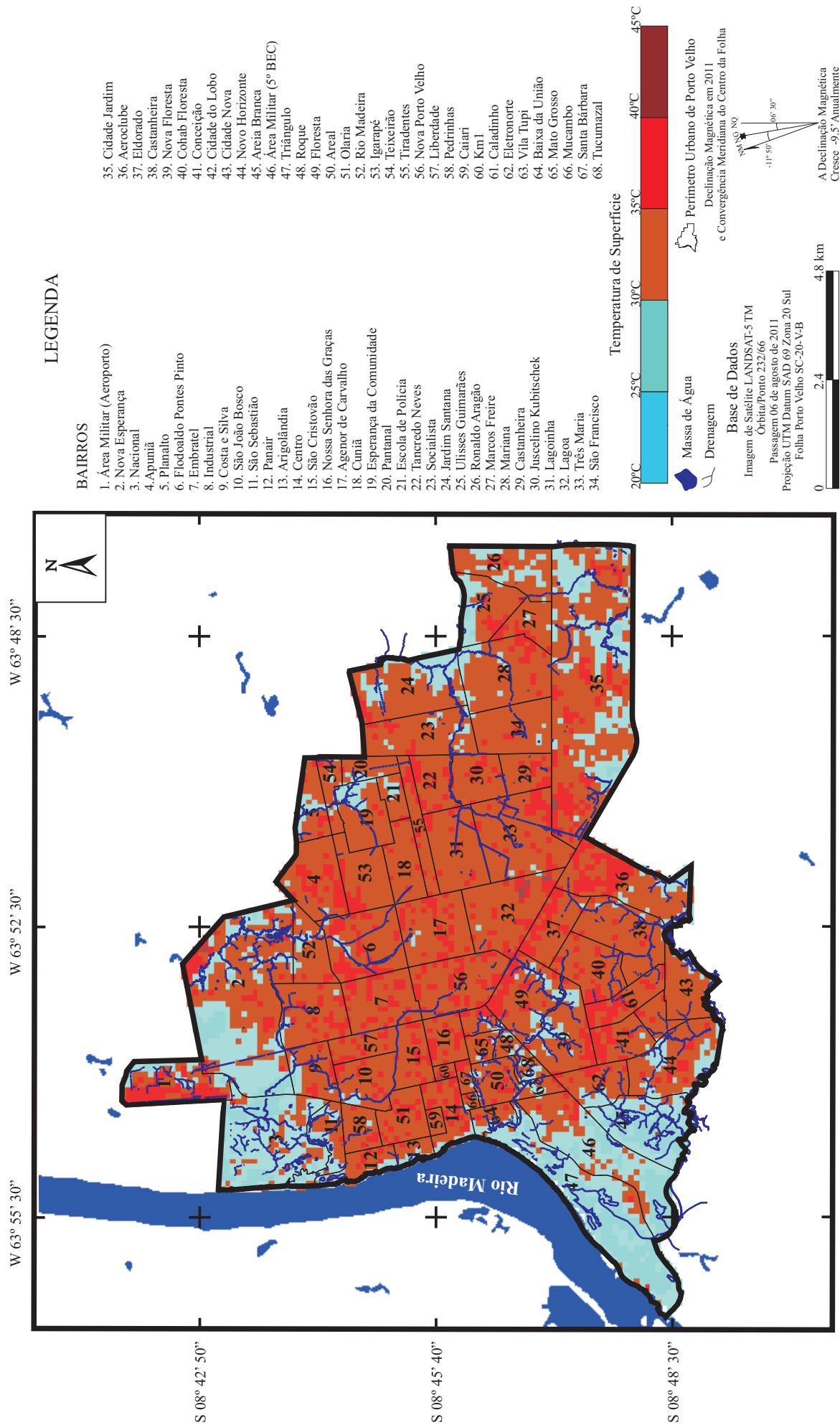


Figura 17. Carta de Ilhas de Frescor da área urbana de Porto Velho do ano de 2011.

5.3. REGIÃO DA PERCEPÇÃO: ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

A região de percepção teve por objetivo analisar os horários de conforto e desconforto térmico detectados na área urbana de Porto Velho/RO.

A partir das informações aplicaram-se dois índices de conforto térmico (Índice de Calor e o de Temperatura Efetiva) a fim de verificar a sensação térmica dos ambientes externos (*outdoor*).

Os 08 pontos monitorados foram definidos e seguidos os diferentes dias e horários e diversidade geográfica, de modo a atingir os mais diferentes ambientes do sítio urbano (Figura 18).

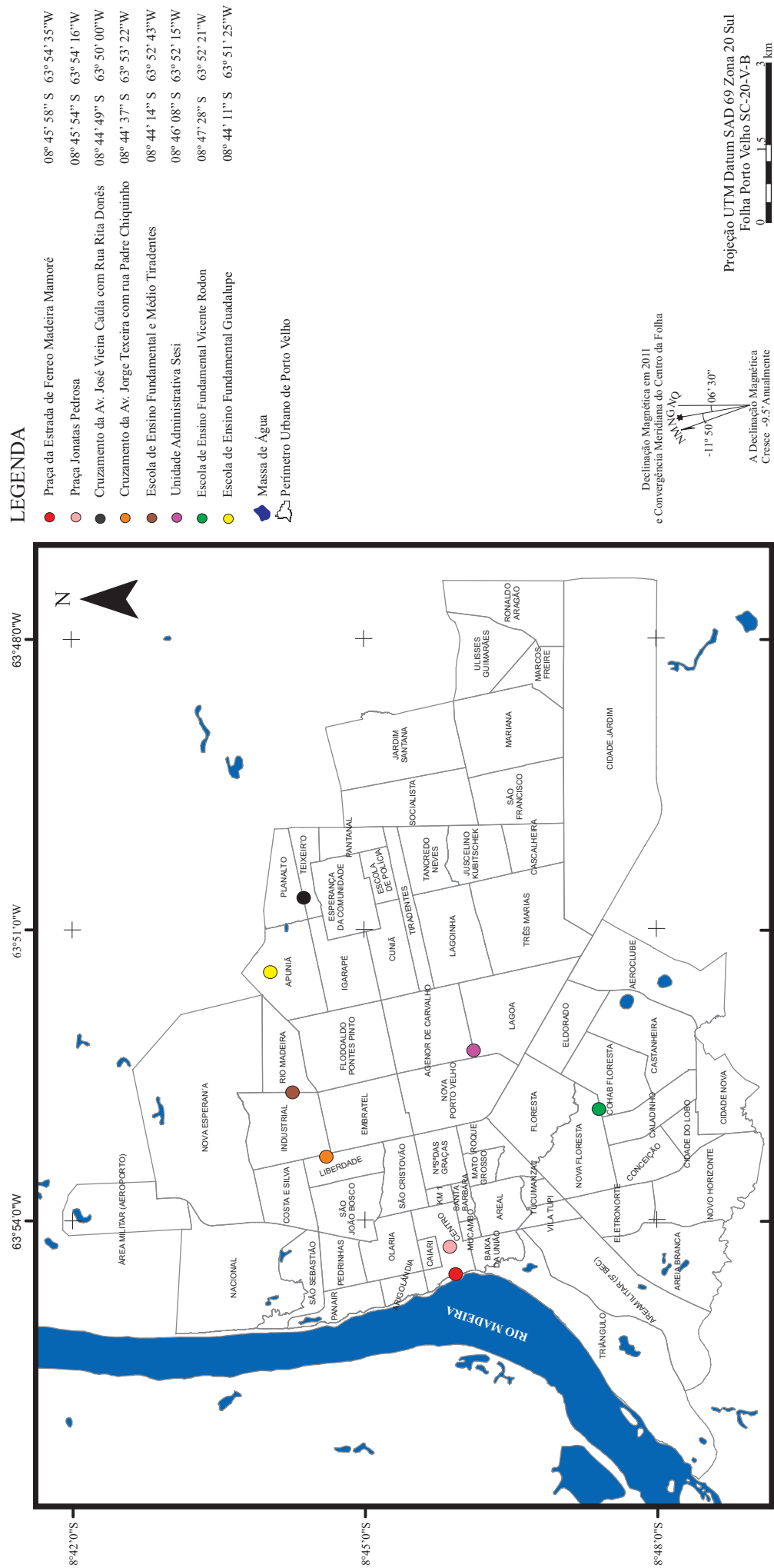


Figura 18. Mapa dos pontos de monitoramento meteorológico. Fonte: modificado PIBIC (2011).

5.3.1. Ponto 01 – Praça da Estrada de Ferro Madeira Mamoré (EFMM)

O ponto 01 está localizado na Praça da Estrada de Ferro Madeira Mamoré, situada na Av. Farquar com Av. Sete de Setembro, bairro Centro, zona central, conforme Figura 19. A praça apresenta média cobertura vegetal arbórea e está à margem direita do rio Madeira.

Neste ambiente registrou-se por meio do termo-higrômetro uma temperatura do ar em $26,6^{\circ}\text{C}$ no dia 26/02/2011 às 09h horal local. Pelas imagens de satélites registrou-se uma temperatura de superfície de $23,7^{\circ}\text{C}$ (imagem de satélite de 06/08/2011 Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09) valor obtido no pixel do presente local.



FIGURA 19. Imagem da Praça Madeira Mamoré. O destaque em vermelho refere-se ao ponto 1, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.

Fonte: *Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright* (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

Os resultados obtidos através do monitoramento higrotérmico e a aplicação dos dois índices de conforto térmico são apresentados conforme o Gráfico 19.

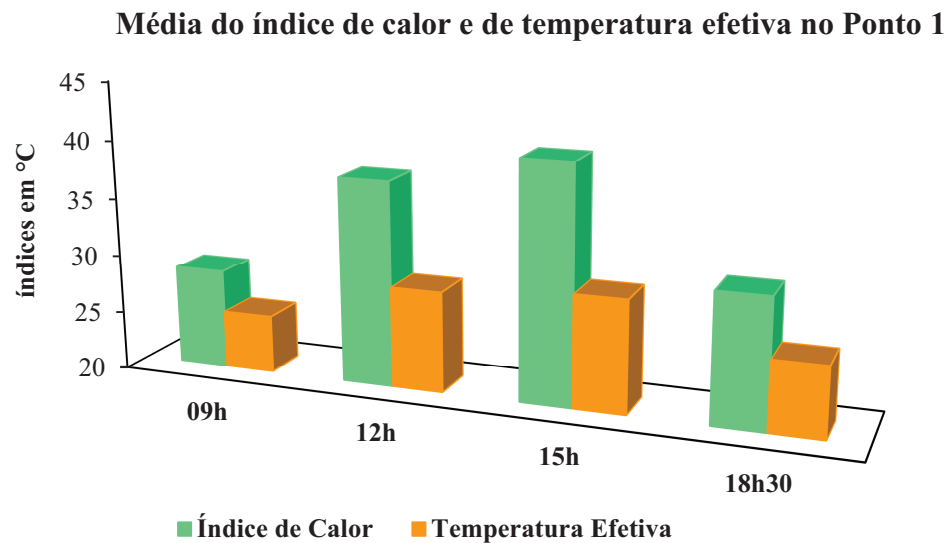


GRÁFICO 19. Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 1, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011
 Fonte: PIBIC (2010/2011)

O índice de calor tem o objetivo de prever quais as consequências para saúde humana. Com isso, os resultados revelaram que no período de fevereiro a maio de 2011, os horários mais críticos para o desconforto térmico foram às 12h e às 15h com mais de 35°C. O que indica um nível de alerta em *cautela extrema* (32,1°C a 41°C) acarretando em sintomas como possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas; já o *perigo* (41,1°C a 54°C) apresenta os sintomas de câimbras, insolação e provável esgotamento com a possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.

A temperatura efetiva é o índice proposto para o ambiente tropical em áreas externas o que demonstrou apenas calor moderado no período de análise, o que indica uma sensação térmica próxima ao nível de calor extremo percebido no ambiente.

O ponto 01 em questão encontra-se no complexo turístico, bem como, está inserido ao ambiente urbano, ou seja, participando do balanço de energia que a cidade promove, embora os dados do horário das 18h30 foram mais cautelosos, em virtude da fraca exposição do brilho da radiação solar e a presença da vegetação.

O estudo realizado com os dois índices em Belém/PA, por Silva Júnior et. al. (2010) no bairro de São Braz (área urbana), revelou que durante os dias estudados, especificamente, no período noturno, das 01h30 às 07h30, foi o momento mais confortável do dia, pois a superfície da cidade havia dissipado parte da energia térmica acumulada durante o dia, enquanto que das 8h30min até as 20h45min o que se registrou uma situação de stress térmico.

5.3.2. Ponto 02 - Praça Jonatas da Pedrosa, Avenida Sete de Setembro

O ponto 02 está localizado na Av. Sete de Setembro, bairro Centro, zona central. É uma área com grande fluxo de veículos e pessoas, devido a presença do setor terciário da economia como comércio, bancos e alguns órgãos públicos, figura 21. Como se observa na figura, o local apresenta baixa cobertura vegetal arbórea, apesar da presença de uma praça “Jonatas Pedrosa” dispõe ainda de pouca arborização urbana.

A temperatura do ar registrada neste local por meio do termo-higrômetro foi de 26,6°C, no dia 26/02/2011 às 09h hora local. Enquanto que pela imagem de satélite o valor de temperatura de superfície foi de 35,6°C (data da imagem 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09).



FIGURA 20. Imagem da Av. Sete de Setembro. O destaque em vermelho refere-se ao ponto 2, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.
Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

As informações térmicas do monitoramento mais a aplicação dos índices de conforto térmico geraram as seguintes informações, descrito no Gráfico 20.

Média do Índice de Calor e de Temperatura Efetiva Ponto 2

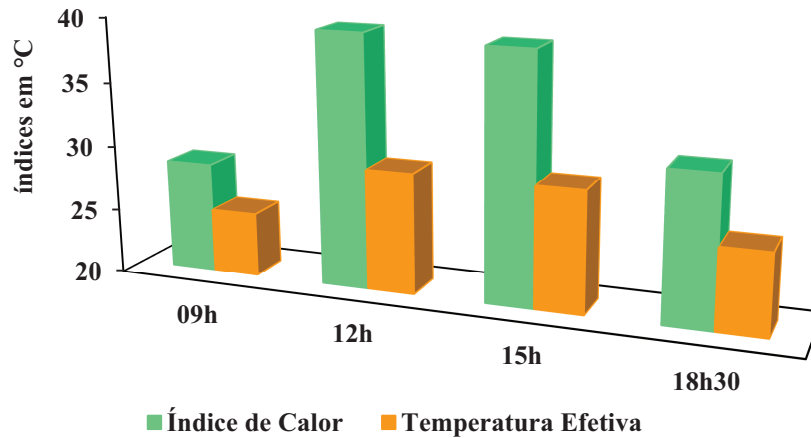


GRÁFICO 20. Média do Índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 2, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011
Fonte: PIBIC (2010/2011)

Analisando o Gráfico 20, os dados apontados pelo índice de calor (IC) revelaram um nível de alerta para *cautela extrema* o que para o organismo humano há possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas em atividades físicas. O nível de alerta foi detectado nos horários de 12h, 15h considerados o de maior exposição ao sol e quanto ao horário de 18h30 refere-se à dissipação da ilha de calor. Esse resultado foi diferente em relação ao Ponto 1, principalmente no horário das 18h30, por conta da presença de vegetação arbórea. Os resultados do índice de Temperatura Efetiva no período monitorado apresentaram para sensação térmica humana apenas calor moderado, que varia de 24°C a 30°C (TE). Gouvêa (2007) explica que a temperatura efetiva é o indicador mais adequado para ambientes externos (outdoor) em condições de calor, que estão associados à sensação confortável para pessoas exercendo atividades de recreação, turismo e da vida cotidiana.

5.3.3. Ponto 03 – Avenida José Vieira Caúla, zona leste

O ponto 03 está situado na Av. José Vieira Caúla c/ Rua Rita Ibanês, bairro Planalto (Teixeirão), na zona leste. Está é uma região residencial, pouco arborizada, de construções baixas, conforme Figura 21.

A temperatura do ar registrada pelo termo-higrômetro foi de 26,3°C no dia 26/02/2011 às 09h hora local. Já a temperatura de superfície registrada pela imagem de satélite foi de 31,2°C do dia 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09.



FIGURA 21. Imagem da Av. José Vieira Caúla com Rua Rita Ibanês. O destaque em vermelho refere-se ao ponto 3, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.

Fonte: *Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright* (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

Os resultados do monitoramento higrotérmico aplicados no índice de calor e no índice de temperatura efetiva são apresentados no Gráfico 21.

Média do Índice de Calor e de Temperatura Efetiva Ponto 3

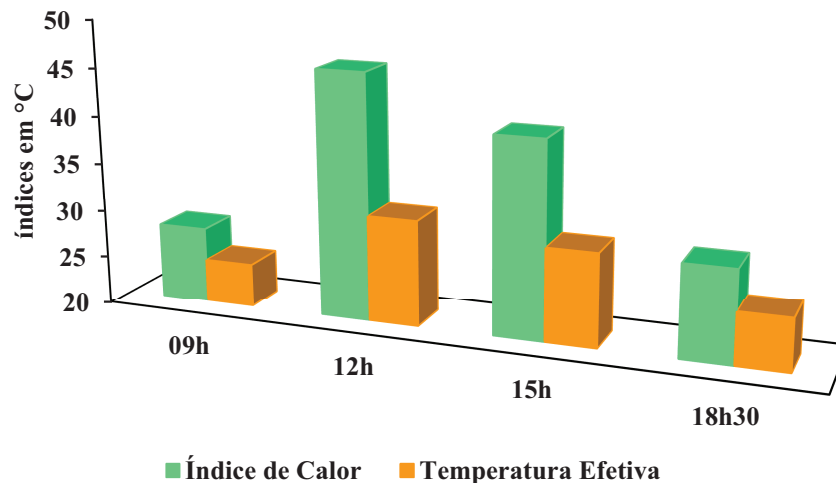


GRÁFICO 21. Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 3, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011

Fonte: PIBIC (2010/2011)

Em análise ao Gráfico 21, o índice de calor (IC) apresentou um nível de alerta preocupante nos horários de 12h e 15h, na classificação de Perigo e Cautela extrema, indicando assim um grande desconforto para os moradores dessa região. A avaliação “outdoor” demonstrou calor moderado e dois no horário das 18h30 com classificação de ambiente agradável.

O revestimento do solo interfere nas condições climáticas do solo. Bem como, explicam Frota e Shiffer (1988) o ar é um mau condutor térmico, de modo que um solo seco se esquentam mais depressa durante o dia, mas à noite devolverá o calor armazenado rapidamente, provocando uma grande amplitude térmica diária.

5.3.4. Ponto 04 – Rua Padre Chiquinho com Avenida Gov. Jorge Teixeira

O ponto 04 está localizado na Rua Padre Chiquinho com Av. Gov. Jorge Teixeira, bairro Liberdade, zona central. As características locais apresentam vias com grande fluxo de veículos, uso misto (residencial e comercial) e com pequena cobertura vegetal no canteiro central da avenida, conforme Figura 22.

A temperatura do ar registrada neste ponto pelo termo-higrômetro foi de 25,6°C no dia 26/02/2011 às 9h. Enquanto que a temperatura de superfície registrada pela imagem de

satélite foi na ordem de 33,7°C (no dia 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09).



FIGURA 22. Imagem da Rua Padre Chiquinho com Av. Jorge Teixeira, Liberdade. O destaque em vermelho refere-se ao ponto 4, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.

Fonte: *Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright* (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

Os valores encontrados de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram aplicados nos índices de conforto térmico através do monitoramento térmico, conforme Gráfico 22.

Média do Índice de Calor e de Temperatura Efetiva no Ponto 4

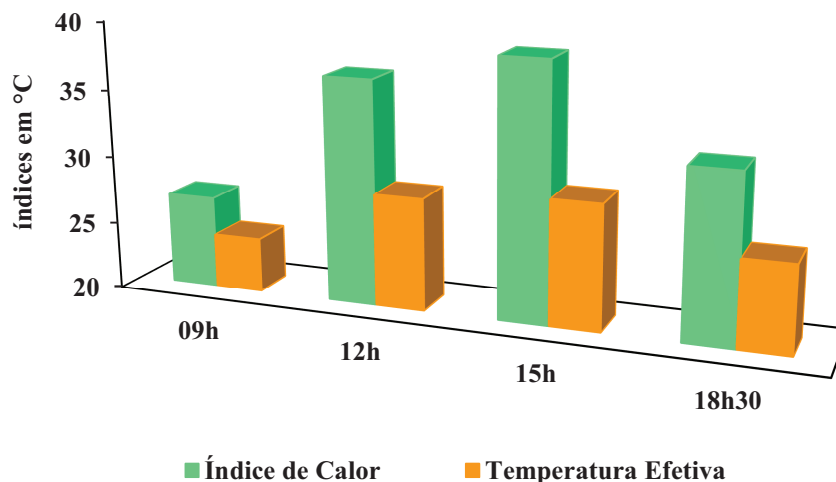


GRÁFICO 22. Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 4, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011.
Fonte: PIBIC (2010/2011).

O índice de calor (IC) apresentou neste ponto uma variação quanto ao horário de 12h, 15h e 18h30, revelando um nível de alerta em perigo e cautela extrema. Esses resultados devem-se ao grande fluxo de veículos de diversos portes, pois está num eixo viário importante para a cidade, causando assim um desconforto térmico ao cidadão principalmente nestes horários e pouca vegetação arbórea não foi suficiente para amenizar esses índices. Quanto à sensação térmica humana foi de calor moderado, permanecendo em torno desse índice.

5.3.5. Ponto 05 – Colégio Tiradentes na Avenida Imigrantes

O ponto 05 foi monitorado no Colégio Tiradentes entre Av. Imigrantes c/ Av. Rio Madeira, bairro industrial, zona norte. Como pode se observar as avenidas com grande fluxo de veículos de diversos portes, de uso misto (residencial e comercial) com pequena cobertura arbórea, Figura 23.

A temperatura do ar registrada pelo termo-higrômetro foi de 26,5°C no dia 26/02/2011 às 09h. Já o valor da temperatura de superfície registrada pela imagem de satélite foi de 35,4°C no dia 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09.



FIGURA 23. Imagem do Colégio Tiradentes (Av. Imigrantes c/ Av. Rio Madeira). O destaque em vermelho refere-se ao ponto 5, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.

Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

Os valores climáticos obtidos pelo monitoramento no ponto 5 revelou as seguintes informações de conforto térmico, conforme Gráfico 23.

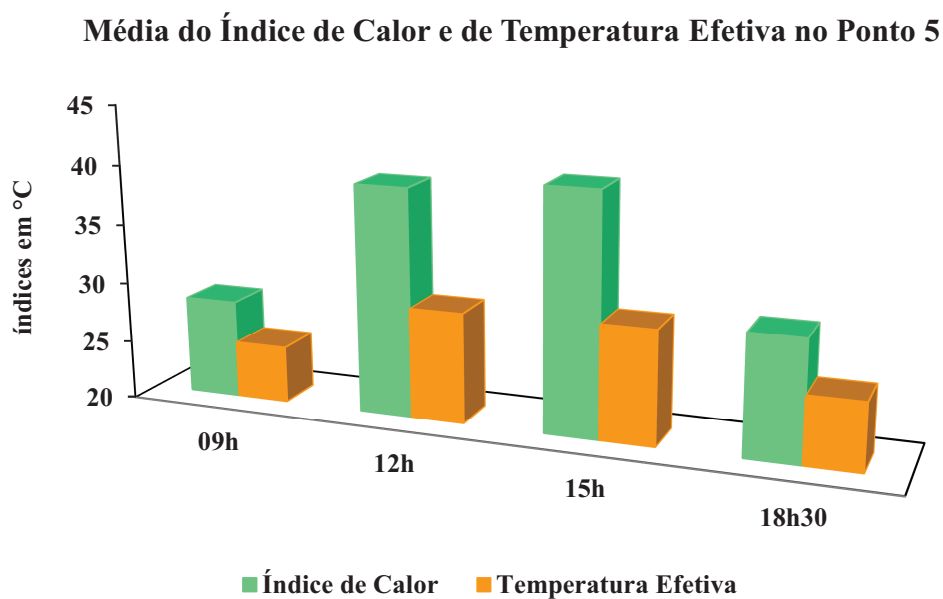


GRÁFICO 23. Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 5, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011

Fonte: PIBIC (2010/2011)

A análise do Gráfico 23 demonstrou que o índice de calor (IC) e de temperatura efetiva (TE) apresentou pouca variação em suas avaliações de critério, persistindo em cautela extrema e calor moderado, respectivamente, principalmente nos horários de 12h e 15h. É uma área muito densa, com diversidade de uso do solo, a topografia é um pouco mais elevada (93m), em relação aos demais pontos monitorados, e com carência de áreas verdes, além disso, é uma área bastante movimentada, próxima as escolas e faculdade (Brasília, IFRO, FATEC), o que lhe confere maior trânsito principalmente por volta das 07h, 12h - 13h e 17h, horários de entrada e saída dos estabelecimentos.

5.3.6. Ponto 06 – Escola SESI na Avenida Rio de Janeiro

O ponto 06 está situado na escola SESI na Av. Rio de Janeiro, bairro Lagoa, na zona leste. As características do local apresentam uma via com grande fluxo de veículos e pessoas, uso misto (residencial e comercial) e com pequena cobertura arbórea, conforme indica a Figura 24.

A temperatura do ar coletada pelo termo-higrômetro neste ambiente foi de 26,1°C no dia 26/02/2011 às 09h. Enquanto que a temperatura de superfície foi de 33,8°C registrada pela imagem de satélite no dia 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09.



FIGURA 24. Imagem do Sesi (Av. Rio de Janeiro). O destaque em vermelho refere-se ao ponto 6, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.
Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

A partir do monitoramento higrotérmico e a aplicação dos índices de conforto térmico, os resultados são apresentados no Gráfico 24.

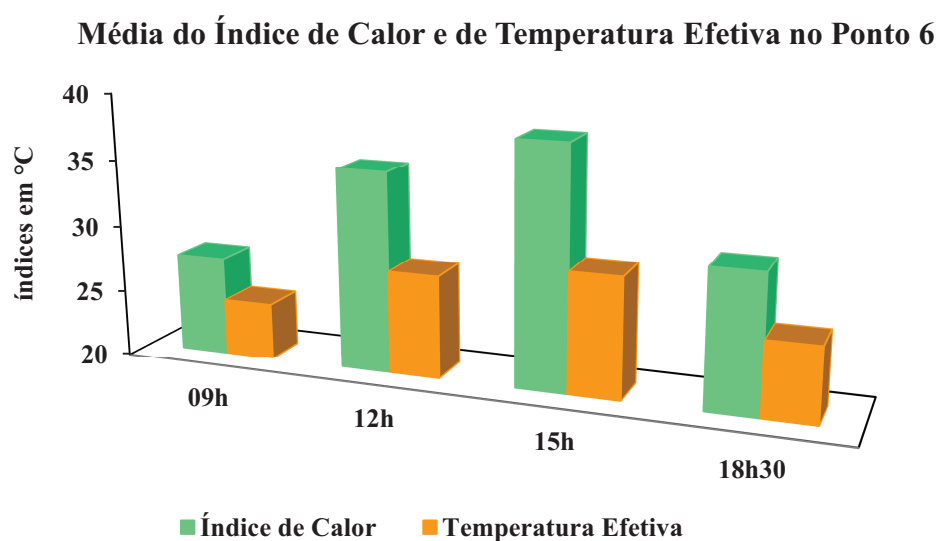


GRÁFICO 24. Média do Índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 6, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011
Fonte: PIBIC (2010/2011)

O índice de calor (IC) combina uma temperatura e uma umidade relativa do ar, ou seja, para determinar uma temperatura aparente que diz o quanto quente sentimos (NÓBREGA e LEMOS, 2011). Logo, a persistência dos níveis de alerta em cautela extrema principalmente nos horários de 12h e 15h, resultou esse semelhante aos pontos monitorados. Já a sensação térmica humana dada pela temperatura efetiva (TE) foi de calor moderado, critério recorrente ao longo do período analisado.

5.3.7. Ponto 07 – Escola Municipal Vicente Rondon

O ponto 07 localiza-se na Escola Municipal Vicente Rondon, bairro Nova Floresta, na zona sul. As características encontradas mostram uma via com grande circulação de pessoas e veículos e baixa cobertura arbórea, Figura 26.

A temperatura do ar registrada neste local por meio do termo-higrômetro foi de 25,9°C no dia 26/02/2011 às 09h. Quanto a análise da imagem de satélite a temperatura de superfície foi de 36,2°C (imagem do dia 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09).



FIGURA 25. Imagem da Escola Municipal Vicente Rondon, Zona Sul. O destaque em vermelho refere-se ao ponto 7, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.

Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

O monitoramento no ponto 07 por meio de termo-higrômetros junto com a aplicação dos índices de conforto térmico são apresentados no Gráfico 25.

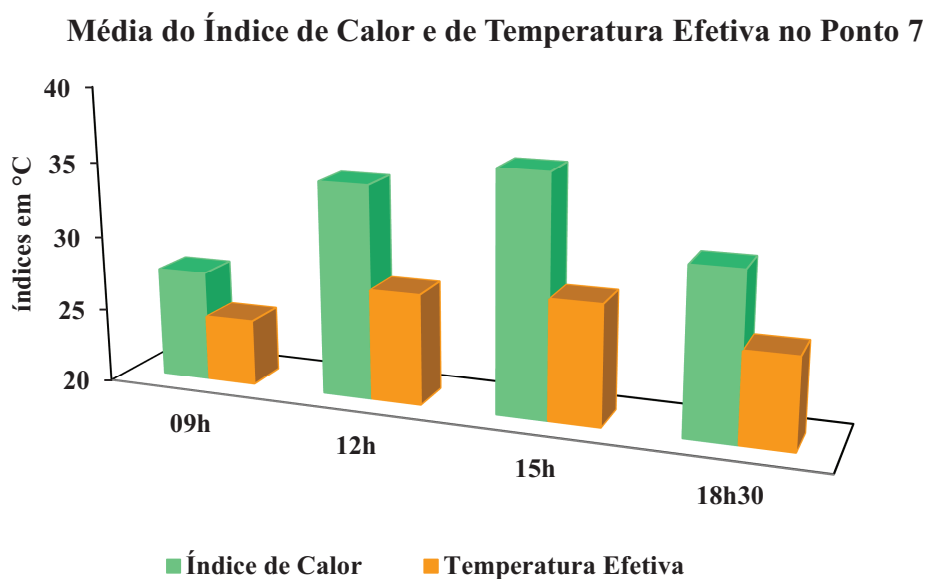


GRÁFICO 25. Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 7, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011

Fonte: PIBIC (2010/2011)

De acordo com o Gráfico 25, pôde-se observar que o índice de calor (IC) revelou níveis de alerta em cautela extrema e perigo nos horários de 12h, 15h e 18h30, o que propicia ao cidadão um *stress* ao calor. Logo, a temperatura efetiva (TE) também comprovou o resultado do índice de calor (IC) resultando em calor moderado sendo a maior sensação térmica percebida no período monitorado, assim vê-se um desconforto térmico neste ponto. Santos e Andrade (2008) explicam que a discussão em torno do conforto térmico está associado ao modo de vida das pessoas que vivem nas cidades, o processo de urbanização está cada vez mais intenso, o que ocasiona a esse efeito sua elevação e diminuição tanto da qualidade de vida quanto dos aspectos gerais da saúde humana nas cidades sejam elas principalmente de grande e de médio porte.

5.3.8. Ponto 08 – Escola Municipal Guadalupe

O ponto 08 foi monitorado na Escola Municipal Guadalupe, no bairro Aponiã, zona leste da capital. Trata-se de um bairro residencial, sem verticalização e média densidade de vegetação arbórea, Figura 26.

A temperatura do ar registrada pelo termo-higrômetro foi de 27,1°C no dia 26/02/2011 às 09h. Enquanto que a temperatura de superfície desse local foi de 33,3°C registrada pela imagem de satélite de 06/08/2011 do Landsat-5 (TM) banda 6-infravermelho, horário de passagem 10h09.

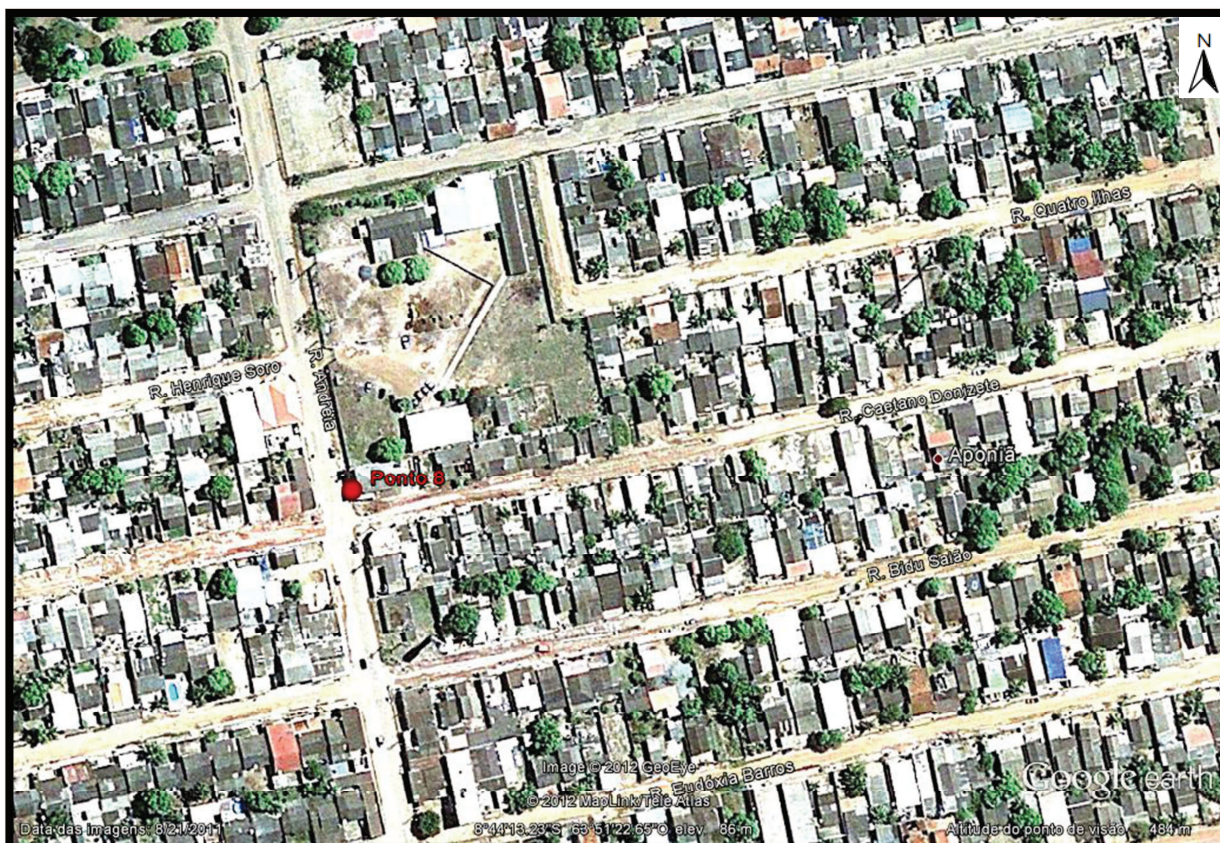


FIGURA 26. Imagem da Escola Municipal Guadalupe, bairro Aponiã, zona leste. O destaque em vermelho refere-se ao ponto 8, onde foram monitorados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, através dos instrumentos termo-higrômetro.

Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (Acesso em 12 de Janeiro de 2012).

Pôde-se observar que os resultados dos índices de conforto térmico (Gráfico 26), apresentaram níveis extremos de desconforto térmico, principalmente nos horário de 12h e 15h, tanto para o índice de calor (IC) quanto para temperatura efetiva (TE).

Média do Índice de Calor e de Temperatura Efetiva no Ponto 8

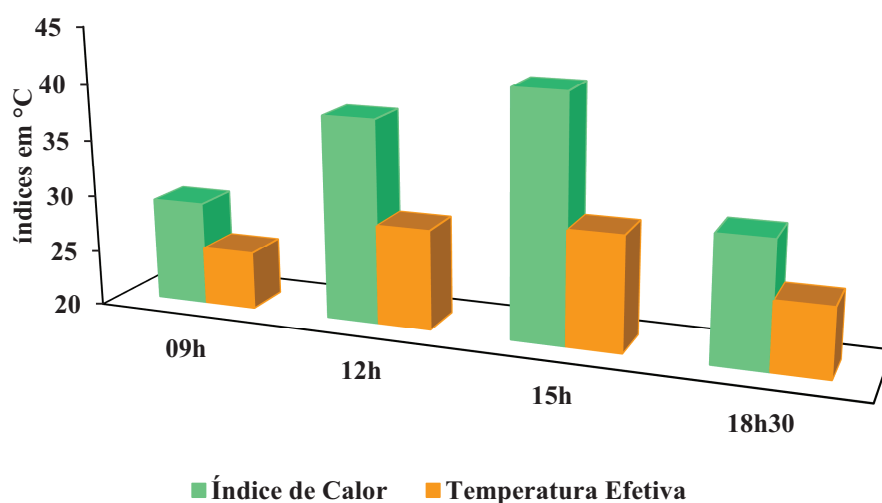


GRÁFICO 26. Média do índice de calor e de temperatura efetiva no Ponto 8, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011

Fonte: PIBIC (2010/2011)

Ressalta-se ainda que os meses de março, abril fazem parte da “estação de inverno” e maio é o mês de transição para o período seco, neste sentindo o que leva em conta o alerta extremo desses níveis é o revestimento do solo (asfalto, concreto, cobertura de fibrocimento) e pequena quantidade de vegetação arbórea nas calçadas e nos quintais. Esses fatores irão influenciar nos parâmetros climáticos como temperatura e umidade relativa do ar, utilizados nas equações. Destacam-se Nóbrega e Lemos (2011) que as transformações do espaço urbano impulsionam ao desconforto térmico, e ainda, pode-se imaginar que adicionando ao aquecimento global em curso para o atual período, as atividades humanas em ambientes abertos, seja as de trabalho e até mesmo as de lazer, podem enfrentar cada vez mais, maior desconforto térmico.

O gráfico 27 integra os oito pontos monitorados nos quatros horários avaliados para o índice de calor, que significa detectar os níveis de alerta e suas consequências a saúde humana. Conforme análise do gráfico os horários mais críticos são 12h e 15h que traz os seguintes sintomas ao cidadão: câimbras, possibilidade de Acidente Vascular Cerebral (AVC), esgotamento e insolação nas exposições prolongadas de atividade física.

O elevado índice de calor ocorreu no ponto 3 (Avenida José Vieira Caúla, zona leste) apresentando nível de alerta para perigo, isso se deve a presença de materiais construtivos e baixa densidade vegetal propiciam elevadas temperaturas.

Vale ressaltar ainda que o monitoramento ocorreu na estação chuvosa (inverno amazônico), assim em dias quentes e úmidos as pessoas têm sensações térmicas mais desagradáveis no qual, surge sinais de fadiga no corpo e dependendo do tipo de atividade física do indivíduo, este fato pode ser não somente desconfortável mas, também, perigoso (REPELLI et al. 1998).

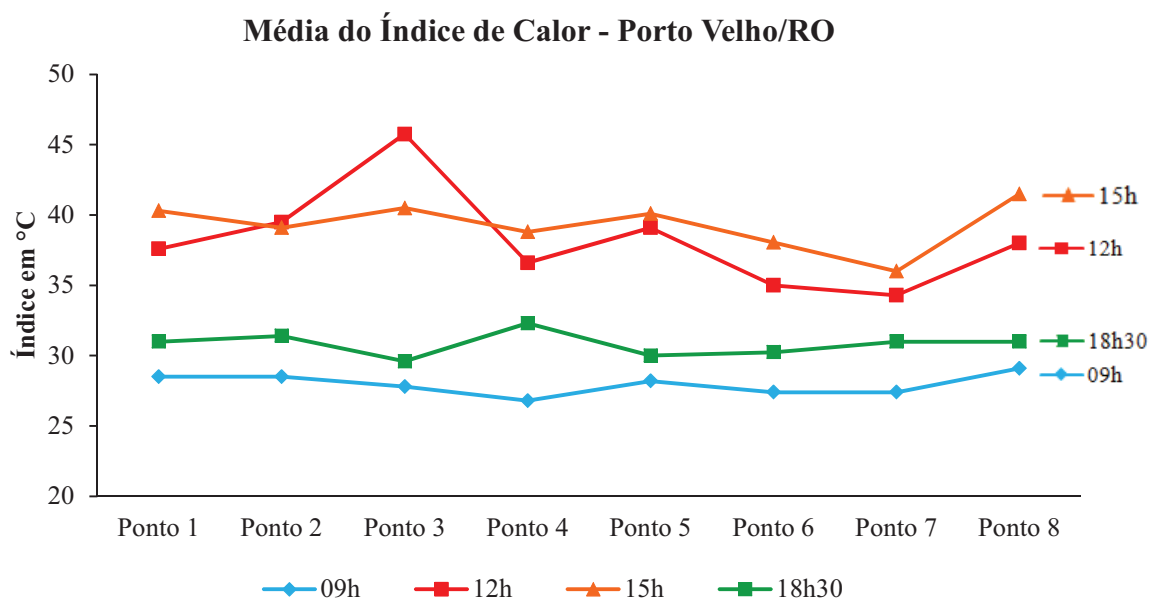


GRÁFICO 27. Média do índice de calor nos oitos pontos monitorados, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011
Fonte: PIBIC (2010/2011)

O gráfico 28 integra os oitos pontos monitorados avaliados para temperatura efetiva indicado aos ambientes externos. O índice de temperatura efetiva revelou uma sensação térmica de calor moderado para os horários de 12h, 15h e 18h30, enquanto que o horário de 9h resultou em agradável (levemente quente). Santos et al. (2011) explica que as superfícies escuras e vegetação reduzida aquecem a camada de ar acima das áreas urbanas, conduzindo à criação de Ilhas de Calor.

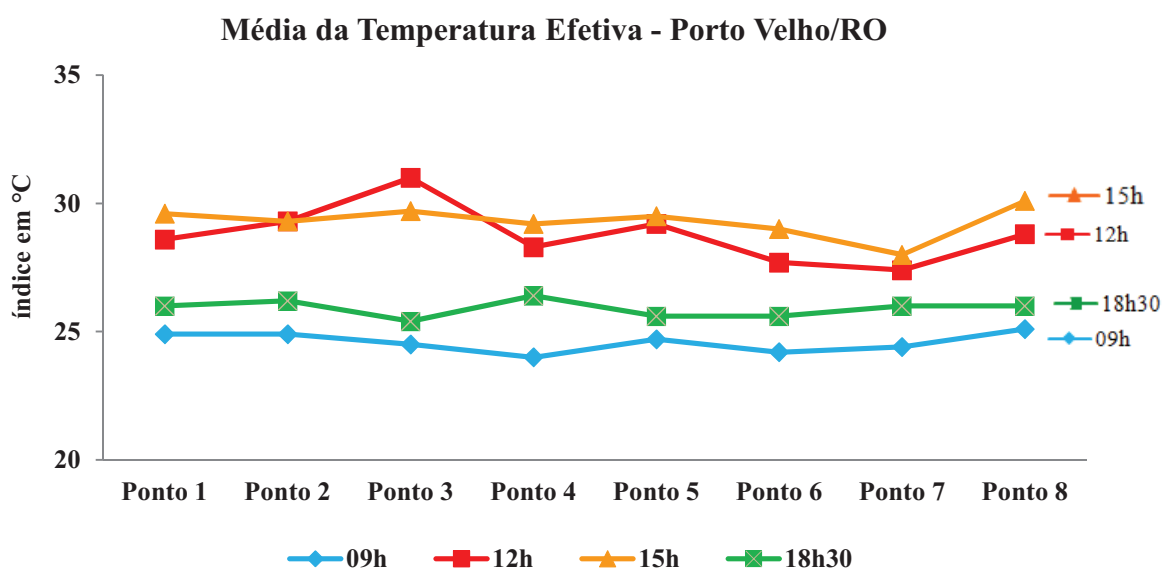


GRÁFICO 28. Média da temperatura efetiva nos oitos pontos monitorados, em Porto Velho/RO, período de fevereiro a maio de 2011
Fonte: PIBIC (2010/2011)

CONCLUSÃO

Este estudo foi caracterizado por uma praticidade bastante marcante, em atenção à metodologia proposta no presente trabalho, que segundo as análises e discussões que foram realizadas, constaram três importantes etapas. O período temporal das informações climática, cobertura vegetal, térmicas e de conforto térmico não segue certa uniformidade, devido ao acesso e a disponibilidade dos dados, apesar disso, pode-se concluir que:

Os dados de pressão atmosférica apresentaram uma alteração anual no mês de julho, devido à entrada ocasional do anticiclone polar (frio e seco), além dos desvios positivos e negativos detectados ao longo da série por conta das anomalias térmicas *El Niño* e *La Niña*, período analisado de 1982 a 2011. Já o comportamento interanual da temperatura do ar revelou um aumento em até 2°C, reflexo do intenso processo de urbanização, esse resultado foi do período de 1983 a 2011. Esse aumento repercutiu na umidade relativa média do ar que revelou uma redução em quase 3%, o que pode estar relacionado às anomalias térmicas e as ações antrópicas. Outro parâmetro climático a destacar foi a precipitação pluvial que apresentou uma tendência de redução em até 500 mm, no período analisado de 1999 a 2011, o que pode estar relacionado ao crescimento urbano em face da redução da cobertura vegetal.

De acordo com as análises, a retirada da cobertura vegetal de 1985 a 2011 ocorreu em proporções elevadas saindo da zona central (em 1985) para as porções norte, sul e leste ocupando quase a área total do perímetro urbano, em 2011. Esse avanço está relacionado com o processo de urbanização em decorrência dos ciclos econômicos implantados na capital, bem como no estado. Essa expansão urbana desordenada e mal planejada favoreceu o aumento da temperatura do ar, promovendo assim o surgimento de ilhas de calor ocupando grande parte da área total urbana denominada de “arquipélagos de calor”, que antes se concentrava na região central no ano de 1985. A faixa térmica desse ano concentrava-se de 25°C a 30°C, enquanto que em 2011, a faixa predominante foi de 30°C a 35°C. Neste sentido, percebeu-se claramente a influência e a importância da vegetação para o aumento ou não da temperatura de superfície ao analisar as cartas de índices de vegetação com as cartas de campo térmico, nos anos de 1985 a 2011. Além da ampliação das ilhas de calor, identificou-se também a redução das ilhas de frescor que, em 1985 ocupava a área de entorno do perímetro urbano, já em 2011 concentravam-se apenas nos bairros Triângulo, Área Militar (5°BEC), Areia Branca e Nacional.

E a aplicação de dois índices de conforto térmico realizado por meio de equações do índice de calor (IC) e de temperatura efetiva (TE) adquiridos em 08 pontos.

De um modo geral, os resultados alcançados demonstraram que os períodos de desconforto térmico percebidos nos ambientes foram nos horários de 12h e 15h avaliados como níveis de alerta para a saúde humana. Enquanto que no horário de 18h30, apenas em três pontos apresentaram níveis moderados, como: Praça Estrada Madeira Mamoré, Av. José Vieira Caúla c/ Rua Rita Ibanês e o Colégio Tiradentes na Avenida Imigrantes. Já os outros cinco pontos no horário de 18h30 trouxeram desconforto térmico ao cidadão. Destaca-se também, que nos oito pontos monitorados pela ótica do sensoriamento remoto, somente o Ponto 1 (Praça da Estrada de Ferro Madeira Mamoré) apresentou conforto térmico, os demais representaram em até 10°C de diferença no local, registrado pelo termo-higrômetro e o pixel da carta térmica.

Como sugestões para futuras pesquisas propõem-se:

a) A execução da última região (Ação) que é direcionada aos gestores públicos, com base em Monteiro (1976).

b) A continuidade de estudos de clima urbano, que necessariamente, devem ser incluídos no planejamento urbano. Os órgãos públicos podem trabalhar para aumentar o maior número possível de ilhas de frescor, podendo começar pela manutenção da arborização urbana em praças, parques públicos, canteiros centrais e calçadas.

c) Incentivar a população a usar materiais que não transformem o calor latente em calor sensível utilizados nas construções, como, por exemplo, a telha de fibrocimento. O uso de telhas de barro é uma alternativa, que alivia o calor dentro da própria construção.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 1ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ANJOS, A. M. G.; LOPES, P. M. O. ; MARCELINO, I. P. V. O. **Identificação de ilhas de calor em Manaus, através do canal termal do sensor *Thematic Mapper* Landsat-5**. Trabalho apresentado ao 12. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 36, p. 717-726, 2001.
- BARBIRATO, G.M.; SOUZA, L. C. L.;TORRES,S. C. **Clima e Cidade: A abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. 1. ed. Maceió: Edufal, 2007.
- BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudo de Ilha de Calor Urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: Estudo de caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva-Pesquisa e Tecnologia**, n.3, set./dez. de 2009.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. 1. ed. Petrópolis: Vozes, 1950.
- BIAS, E. S., BAPTISTA, G. M. M. & LOMBARDO, M. A. **Análise do Fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas, por meio da Combinação de Dados LANDSAT e IKONOS**. Trabalho apresentado ao 11.Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 2003.
- BRANCO, S. M. **O desafio amazônico**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2004.
- BRANDÃO, A. M. P. M.. O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, MENDONÇA, F. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2007.
- BR ANDÃO, A. M. P. M. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília: [s.n]. 1992.
- Camara G, Souza R. C. M, Freitas U. M, Garrido J.**Computers and Graphics, SPRING: Integrating remote sensingand GIS by object-oriented data modelling**, n.20, v.3, 395-403, May/Jun 1996.
- CAVALCANTI, I. F. A. et. al., (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CAVALCANTE, M. M. A.; LOBATO, L. C. H.; SILVA, R. G. C.; NUNES, D. D. **Políticas Territoriais e Mobilidade Populacional na Amazônia: Estudo sobre as Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio no Rio Madeira/Rondônia/Brasil**. Trabalho apresentado ao 11. Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambú, 2008.

CARVALHO, A. M. G. **Conexões entre Circulação em Altitude e a Convenção sobre a América do sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia. São Jose dos Campos, 1989.

CASTRO, A. R. C. **Aplicação de Sensoriamento Remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém/PA, nos anos de 1997 e 2008**. Trabalho apresentado ao 1. Congresso Brasileiro de Organização do Espaço e 10. Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP, Rio Claro, 2010.

CASTRO, A. R. C. **Aplicação de Sensoriamento Remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém/PA, nos anos de 1997 e 2008**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Pará. Belém, 2009.

CEREDA, F. E. P. M.; COSTA, T. B. S. Benefícios da utilização da cobertura refletiva nos prédios da UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente**. São Paulo, v. 25, n.2, 2009.

CHECCHIA, T. E.; RODRIGUES, T. B.; SCHRÖDER, P. H.; CORREA, A. C. S. **Avaliação dos efeitos das modificações da cobertura da terra na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica de Pimenta Bueno, Rondônia**. Trabalho apresentado ao 1. Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Cuiabá, 2007.

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Atual. 1998.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. In: Jurandyr L. S. R. (Org.). **Geografia do Brasil**. 5 ed. São Paulo: EDUSP, 2008.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análises de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. Piracicaba, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, 2006.

COSTA, A. D. L. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Alagoas, 2003.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de Geotecnologias. **Revista de Engenharia Agrícola de Jaboticabal**, v.30, n.5, p.974-985, set./out. 2010.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; IDEIÃO, S. M. A. Determinação da temperatura de superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do satélite Landsat 5-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais**. Natal: INPE, 2009, 5717-5724.

CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. C. B.; NECHET, D. Chuvas na Amazônia durante o século XX. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2000. Disponível em < <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-e969ba4193fd5703d2c9a23ca0e66097.pdf>>. Acesso em 20 de jan. 2012.

CHANDLER, T. J. **The Climate of London**. Hutchinson & Co: Londres, 1965.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARS, J. A.
Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+,
and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment** 113(2009) 893–903. Elsevier Inc.

DANNI, O. I. M. **A cidade de Curitiba e a poluição do ar**: implicações de seus atributos urbanos e geoecológicos na dispersão de poluentes em período de inverno. 2000, Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2000.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DE RONDÔNIA. **Anuário Estatístico de Trânsito de 2010**. Porto Velho: Registro de Estatística de Acidente de Trânsito de Porto Velho, 2010.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2000.

EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em:
<<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 jul. 2011.

ESTADO DE S. PAULO. Usina transforma cenário e economia de Porto Velho. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 11 jun. de 2010, seção Economia. Disponível em: <
<http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,usina-transforma-cenario-e-economia-de-porto-velho,579453,0.htm>>. Acesso em 19 jan. 2012.

FILHO, N. O. H.; FELIX, A.; VIEIRA, C. V.; BAPTISTA, E. M. C. Geologia da Planície Costeira das Folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, SC. **Revista Discente Expressões Geográficas**, Florianópolis, n. 06, jun. 2010. Disponível em:
< <http://www.geograficas.cfh.ufsc.br/> > Acesso em: 10 fev. 2011.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Boletim de Clima Análise Especial**, 1996. Disponível em:
<<http://www.unifap.br/ppgbio/doc/Clima%20da%20Amazonia.pdf>> Acesso em 29 out. 2010.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, G. P. S.; SOUZA, S. C.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Variabilidade Climática em áreas da Amazônia Mato-Grossense. **Revista Amazônia Legal de estudos sócio- jurídico-ambientais**. Cuiabá, n. 2. Jul./ dez. de 2007. Disponível em
< http://www.amazonialegal.org.br/revistas/revista02/rev2_art1.pdf > Acesso em 26 out. 2010.

FONSECA, D. R. **Estudos de história da Amazônia**. 1. ed. Porto Velho: Maia, 2007.

FOLHES, Marcelo Theophilo. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. 2005. 183 f. Tese (Doutorado), Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1988.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Traduzido por Silvia Helena Gonçalves. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GAMA, J. M. **Clima**. In: Fernandes, L. C.; Guimarães, S. C. P. (Org.). Atlas Geoambiental de Rondônia. Porto Velho: SEDAM, 2002.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Revista Caminhos de Geografia**. V. 4, n.10, 2003.

GOUVÊA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas), Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2007.

GOOGLE EARTH TM. **Mapping service/NASA/Terra**. Métricas copyright. Acesso em 12 de jan. 2012.

HISTORY WEATHER UNDERGROUND. **Histórico e Almanaque-SBPV**. In: STEREMBERG, A. (org.) **The First Internet Weather Service**, Porto Velho, v.1, n1. p.1-1. Disponível em: <http://www.wunderground.com/history/airport/SBPV/MonthlyHistory.html>. Acesso em 12 de jan. 2012

HOWARD, L. **The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places Around it**. London, Harvey and Darton, 1833.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Demográficos**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/universo.php?tipo=31o/tabela13_1.shtm&paginaatual=1&uf=11&letra=P , <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acesso em 20 out. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Introdução ao processamento digital de imagens**. 5. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Apostila do curso de Fundamentos ao Geoprocessamento**. São Jose dos Campos: INPE, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Catálogo de Imagens. Imagens Landsat-5 (TM) dos anos de 1985, 1995, 2006 e 2011. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 25 de set. 2010

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Traduzido por José Carlos Epiphany; Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009.

LANDSBERG, H. E. O clima das cidades. Traduzido por Tarik Rezende de Azevedo. **Revista do Departamento de Geografia**, v.1, n. 18, p. 95-111, 2006.

LANDSBERG, H. E. **The Climate of towns**. In: Thomas, W. L. (Org.) *Man's Role in Changing the face of the Earth*. v.2, p.584-606, 1956.

LIMA, V. AMORIM, M. C. C. T. **A utilização d informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana**. Trabalho apresentado ao 15 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 2011.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. 1. Ed. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOUZADA, F. L. R. O.; COUTINHO, L. M.; ANDRADE, C.C.; OLIVEIRA, V. A. S.; BREDAS, P. H. M.; SANTOS, A. R. Análise da Cobertura Florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2009, Natal. **Anais Natal**: INPE, 2009. 25-30.

LUCAS, T. P. B. **Chuvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na região metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

LUCENA, A. J.; FILHO, O. C. R.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Aplicação da correção atmosférica para imagens de satélite Landsat-TM. Trabalho apresentado ao **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século xx e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no século XX usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**. Campinas. n. 8, 2007. Disponível em: <<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2007/MarengoValverde2007.pdf>> Acesso em 19 de Julho de 2011.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Radiometric properties of U.S. processed Landsat MSS Data. **Remote Sensing of Environment**, 22,39–71, 1987.

MEIRELLES, Filho. J. **Amazônia: o que fazer?** 1. ed. São Paulo: Editora Nacional, 1986.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Org.) **Clima Urbano**. 1. ed. São Paulo: Contexto. 2003.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOCHIZUKI, P. S.; BRESSANE, A.; DALFRE, G.; BIERAS, A. R. Estudos Climáticos como subsídio à política municipal de desenvolvimento do município de Tatuí (SP). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, n.4, p. 115-132, dez. 2006.

MONTEIRO, C. A de F. **Teoria e clima urbano**. 1. ed. São Paulo: 1976.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões Teóricas de Conforto Térmico em Espaços Abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**; v. 2, p. 107-117, 1987.

MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Ilhas Térmicas na cidade de Fortaleza/CE. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v.28, n. 2, p.33-44. Jul/dez, 2008.

NASCIMENTO, C. P. **Cenários da Produção Espacial Urbana de Porto Velho**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Porto Velho, Rondônia, 2009.

NECHET, D.; ANDRADE, V. M. S. de . **Variação Diária da Pressão Atmosférica em Belém-PA em um Ano de El Niño**. Trabalho apresentado ao 10. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1997.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T.V. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. In: **Revista de Geografia**, Recife, n. 1, 2011.

OGIMET. **Serviço de Informação Meteorológica**. Disponível em: <<http://www.ogimet.com/synops.phtml>> Acesso em 12 set. 2010.

OLIVEIRA, L. M. F.; JÚNIOR, Y. T.; FERREIRA, E.; CARVALHO, L. G.; SILVA, M. P. Zoneamento Bioclimático da região sudeste do Brasil para o Conforto térmico animal e humano. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.823-831, set./dez. 2006.

FRANCA, R. R. (Coord.) **Estudo preliminar sobre clima urbano na cidade de Porto Velho (RO)**. Porto Velho: UNIR, 2011. Relatório.

PORTO VELHO, Lei complementar nº311, de 30 de Julho de 2008, dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Porto Velho. **Diário Oficial do município de Porto Velho**, Porto Velho, 2008.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: A. Silva Vieira. 2007.

REPELLI, C. A., ALVES, R., SOUZA, E. B. de, UBARANA, V. N., ALVES, J. M. B. Sensação térmica para Fortaleza-CE. **Monitor Climático**, n. 11, p. 8-16, 1998.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado e Planejamento e Coordenação Geral 2ª Aproximação do Zoneamento Socioeconômico e Ecológico. Porto Velho, **PLANAFLORO**, 2002. Disponível em < <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/acervo-tecnico-zoneamento.html> > Acesso em 15 de mar de 2011.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. Atualização da Cartografia Básica, Porto Velho **Zoneamento Socioeconômico e Ecológico**. 2004. 2002. Disponível em < <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/acervo-tecnico-zoneamento.html> > Acesso em 15 de mar de 2011.

RORIZ, M. **Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo**. 1. ed. Curitiba: ENCAC-COTEDI. 2003.

RUFINO, I. A. A.; CARVALHO, H. J. M. de.; IDEIÃO, S. M. A.; CUNHA, J. E. B. L. Sensoriamento Remoto no estudo da temperatura de superfície em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal, **Anais**. Natal: INPE, 2009, 5717-5724.

SALES, V. C. **Geografia, Sistemas e Análise Ambiental: Abordagem Crítica**. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 16, p.125-141, 2004. Disponível em: <<http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/geousp/Geousp16/Artigo8.pdf>> Acesso em 29/09/2010

SANTOS, L. M. S.; FERREIRA, M. M. Avaliação das vertentes da bacia do igarapé Belmont Porto Velho – RO. **Revista de Geografia (Londrina)**. v. 19, n. 2, 2010.

SANTOS, R. L.; ANDRADE, H. O. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**. n.40. p.77-84, 2008.

SANTOS, A. C.; GOMES, I. A.; RIBEIRO, S. R. A. Análise das mudanças de cobertura vegetal na geração de Ilhas de Calor. Estudo de caso: Cascavel e Ponta Grossa - PR – Brasil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.374.

SANTOS NETO, L. A.; NÓBREGA, R. S. Friagens em Porto Velho (RO) - Parte I: Caracterização e quantificação climática utilizando quantis. Trabalho apresentado ao 15. Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, 2008.

SANTOS NETO, L. A. **Curso de meteorologia para jornalistas**. Porto Velho: 1. ed. CD Digital, Abr de 2010. CD-ROM.

SERRATO, F. B.; CASTILLO, F. J. G.; GARCIA, R.G.; VALCÁRCEL, E.C. Radiación y temperatura en el periodo 1990-1999 en el campo experimental de "El Ardal" Murcia: studio preliminar. **Papeles de Geografía**, Barcelona, v.35, s.n, p.17-25, 2002.

SILVA, M. J. G.; FRANCA, R. R.; MILITÃO, J. S. T.; SARAIVA, F. A. M.; SILVEIRA, E.G. Cobertura do solo e a variabilidade da temperatura e da umidade relativa do ar em Porto Velho (RO) entre 1971-2005. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15, 2010, **Anais**, Belém. 2010. Disponível em:
<http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/575_25072.pdf> Acesso em 14 set. 2010.

SILVA, F. D. S.; FERREIRA, D. B.; SARMAHO, G. F.; SANTOS, L. S. F. C.; FORTES, L. T. G.; PARENTE, E. G. P. Tendências de Alterações Climáticas da Precipitação Observadas no Brasil de 1961 a 2008 utilizando dados gradeados. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**, Belém, 2010.

SILVA, R. B.; VINHA, E. **Vegetação: Biodiversidade de Espécies Florestais**. In: Fernandes, L. C.; Guimarães, S. C. P. (Org.). Atlas Geoambiental de Rondônia. 1. ed. Porto Velho: SEDAM, 2002.

SILVA JÚNIOR, J. de A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R.F.; CARVALHO, S. P.; SOUSA, A. J. S. Estudo do conforto térmico e o fenômeno da ilha de calor na cidade de Belém-PA durante o ano de 2010. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais**, Rio claro, 2010. Disponível em:
<http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/92_57848.pdf> Acesso em 20 de Janeiro de 2012.

SONNEMAKER, J.B. **Meteorologia PP-PC-IFR-PLA**. Com fotos coloridas de nuvens. 1. ed. São Paulo: ASA, 2007.

SORRE, M. A adaptação ao meio climático e biossocial – Geografia psicológica. In: Megale F.J. (org.). **Max Sorre: Geografia** São Paulo: Ática, 1984.

SOUZA, A. A.; JIMÉNEZ, R. J. R. **Análise fisiográfica e morfoestrutural no reconhecimento de padrões de solos no município de Porto Velho/RO**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: INPE, 2007, 6981-6985.

SOUZA, J. D. ; SILVA, B. B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v.23, n.4, p.349-358, 2005.

SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*). **Imagem de Satélite**. Passagem 09.10.2009. Disponível em *Google Earth Free*.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP), Brasil. **Geografia**. Rio Claro, v.2, n. 4, p.59-60, 1977.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. de M. Identificação do fenômeno de ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER *on demand 08-Kinetic temperature (III)*: metrópoles

brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais**.Goiânia; INPE, 2005. 3911-3918.

TEJAS, G. T.; AZEVEDO, M. G. F.; LOCATELLI, M. A influência de áreas verdes no comportamento higrotérmico e na percepção ambiental do cidadão em duas unidades amostrais no município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba, v.6, n.4, p. 15-34, 2011.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Revista Ciência. Cult.**, v. 55, n. 4, p. 36-37, out./dez. 2003.

ZUFFO, C. E.; SILVA, L. P. **O caminho das águas**. In: Fernandes, L. C.; Guimarães, S. C. P. (Org.) Atlas Geoambiental de Rondônia. Porto Velho: SEDAM, 2002.

ZUFFO, C. E; FRANCA, R. R. Caracterização Climática de Rondônia e Variabilidade do Clima em Porto Velho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA – CLIMATOLOGIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO.9, 2010, Fortaleza, **Anais**. Fortaleza: set. de 2010.